

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STAVEBNÍ**

**KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ**



**NÁVRHOVÉ POSTUPY PŘI ŘETĚZENÍ  
OPATŘENÍ HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU  
VODOU**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Martina Paldusová**

**Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. David Stránský, Ph.D.**

**Květen 2019**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Paldusová Jméno: Martina Osobní číslo: 440795  
Zadávací katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Návrhové postupy při řetězení opatření hospodaření s dešťovou vodou

Název bakalářské práce anglicky: Design methods of serially connected stormwater management devices

Pokyny pro vypracování:

Práce bude obsahovat teoretickou část popisující návrhové postupy typických opatření hospodaření s dešťovou vodou v urbanizovaných územích. V praktické části práce bude zpracován jednoduchý model akumulární nádrže se sériově zařazenou retenční nebo vsakovací nádrží. Výsledky výpočtu historické dešťové série pak budou vyhodnoceny s ohledem na požadovanou návrhovou kapacitu opatření HDV dle TNV 759011.

Seznam doporučené literatury:

Krejčí a kol. Odvodňování urbanizovaných území - Koncepční přístup, NOEL2000, 2002

SuDS Manual (C753), Ciria, 2007

TNV 75 9011

ČSN 75 9010

Jméno vedoucího bakalářské práce: doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2019 Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2019  
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem danou bakalářskou práci vypracovala samostatně s použitím uvedených informačních zdrojů a podkladů, vše v souladu s metodickými pokyny o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 21.5.2019

Podpis: .....

Martina Paldusová

## Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Davidovi Stránskému, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je rozdělena na dvě části – teoretickou a praktickou. Teoretická část popisuje návrhové postupy typických opatření hospodaření s dešťovou vodou v urbanizovaném území.

Cílem praktické části je zpracování jednoduchého modelu akumulční nádrže a retenčního zařízení s regulovaným odtokem pro typický rodinný dům. Práce hodnotí, zda standardně navržená akumulční nádrž splňuje požadavky na zadržení 5 - letého deště. Součástí praktické části je návrh časového rozložení odběrů a matematický model plnění a prázdnění akumulční nádrže. Pro výpočet byla použita reálná dešťová řada naměřena v časovém období 10 let. Jednotlivé navržené varianty jsou porovnány z ekonomického hlediska.

### **Klíčová slova**

Hospodaření s dešťovou vodou; akumulace; retence; řetězení opatření hospodaření s dešťovou vodou

## **Abstract**

This bachelor thesis is divided into two parts – theoretical and practical. The theoretical part describes design methods of typical rainwater management measures in an urbanized area.

The goal of practical part is to form a simple model of a rainwater storage tank and retention system for a typical family house. The thesis evaluates, whether a rainwater storage tank of a standard design meets the requirements to retain a 5 - year rain. A design of time distribution of sampling and a mathematical model of filling and emptying of the storage tank are both components of the practical part. A real rainfall series, measured in a time of 10 years, were used for the calculation. Individual proposed variants were compared from an economical standpoint.

### **Key words**

Rainwater management; water storage; retention systems; serially connected stormwater management devices



# Obsah

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>LITERÁRNÍ REŠERŠE .....</b>	<b>5</b>
3.1	HISTORIE ODVÁDĚNÍ ODPADNÍCH VOD .....	5
3.2	ZNEČIŠTĚNÍ SRÁŽKOVÝCH VOD.....	8
3.2.1	<i>Znečištění srážek při prostupu atmosférou .....</i>	<i>8</i>
3.2.2	<i>Znečištění dešťových vod oplachem zpevněných ploch .....</i>	<i>9</i>
3.2.3	<i>Znečištění dešťových vod při dotyku s povrchy .....</i>	<i>10</i>
3.3	HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU .....	10
3.3.1	<i>Předčištění srážkových vod.....</i>	<i>10</i>
3.3.2	<i>Zachování propustných povrchů.....</i>	<i>13</i>
3.3.3	<i>Výpar.....</i>	<i>14</i>
3.3.4	<i>Vsakování.....</i>	<i>16</i>
3.3.5	<i>Akumulace.....</i>	<i>20</i>
3.3.6	<i>Retence s regulovaným odtokem.....</i>	<i>21</i>
3.4	ZPŮSOBY NÁVRHU OPATŘENÍ HDV .....	23
3.4.1	<i>ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod.....</i>	<i>23</i>
3.4.2	<i>TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami .....</i>	<i>24</i>
3.5	PRÁVNÍ PŘEDPISY ČR A MOTIVACE.....	24
3.5.1	<i>Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) .....</i>	<i>24</i>
3.5.2	<i>Vyhláška č. 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území .....</i>	<i>25</i>
3.5.3	<i>Zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).....</i>	<i>26</i>
3.5.4	<i>Motivace.....</i>	<i>27</i>
<b>4</b>	<b>METODIKA .....</b>	<b>29</b>
4.1	POSTUP A PŘEDPOKLADY ŘEŠENÍ.....	29
4.2	NÁVRH VARIANT PRO POSOUZENÍ SYSTÉMU .....	29
4.2.1	<i>Varianta 1 .....</i>	<i>29</i>
4.2.2	<i>Varianta 2 .....</i>	<i>29</i>
4.3	NÁVRH AKUMULAČNÍHO OBJEMU .....	30
4.3.1	<i>Objem přítoku .....</i>	<i>30</i>
4.3.2	<i>Objem potřebný pro závlahu a využití v domácnosti .....</i>	<i>32</i>
4.4	NÁVRH ČASOVÉHO ROZLOŽENÍ ODBĚRU .....	33
4.5	MATEMATICKÝ MODEL PLNĚNÍ A PRÁZDNĚNÍ AKUMULAČNÍ NÁDRŽE .....	34
4.6	NÁVRH RETENCE S REGULOVANÝM ODTOKEM .....	36
4.6.1	<i>Samostatný retenční objekt s regulovaným odtokem .....</i>	<i>36</i>

---



4.7	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	39
4.7.1	<i>Investiční náklady</i> .....	39
4.7.2	<i>Náklady na pořízení a instalaci akumulční nádrže</i> .....	40
4.7.3	<i>Náklady na potrubí</i> .....	41
4.7.4	<i>Náklady na retenční objekt s regulovaným odtokem</i> .....	41
4.7.5	<i>Provozní náklady</i> .....	41
4.7.6	<i>Úspora vodného a stočného</i> .....	42
5	<b>VÝSLEDKY ŘEŠENÍ</b> .....	43
5.1	VARIANTA 1 .....	43
5.2	VARIANTA 2 .....	45
5.3	SAMOSTATNÁ RETENCE S REGULOVANÝM ODTOKEM .....	47
5.4	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	48
5.4.1	<i>Varianta 1</i> .....	48
5.4.2	<i>Varianta 2</i> .....	49
5.4.3	<i>Samostatný retenční objekt s regulovaným odtokem</i> .....	50
6	<b>ZÁVĚRY</b> .....	52
7	<b>LITERATURA</b> .....	53



# 1 ÚVOD

Rychle rostoucí urbanizace nám výrazně mění nejen vzhled krajiny, ale i hydrologický cyklus. S tím souvisí mnoho problémů. Ve městech se hůře žije, kvůli vznikajícím tepelným ostrovům, prašnosti a suchému vzduchu. Zmenšují se nám zásoby podzemní vody, přívalové deště způsobují lokální záplavy atd.

V poslední době začíná společnost problémy s nedostatkem vody čím dál více pociťovat. Klimatická změna nám připomíná jak důležitá a vzácná je voda pro život. Zdá se, že letošní rok bude opět velmi suchý. Už na jaře měla část České republiky problémy s extrémním suchem.

Přesto lidé s vodou často plýtvají a neuvědomují si dostatečně její význam. Žijeme ve vodním blahobytu, kde kdykoliv otočíme kohoutkem teče nám pitná voda, a pitnou vodou dokonce i splachujeme.

Pokud chceme s vodou šetřit, neměli bychom si vodu z atmosférických srážek jen tak nechávat odtékat do kanalizace. K tomu jsou vhodné objekty hospodaření s dešťovou vodou. Cílem práce je popsat způsoby a objekty hospodaření s dešťovou vodou, poukázat na jejich výhody a nevýhody. Hospodařit s dešťovou vodou mohou jednotlivci na svých pozemcích, ale i celá města. Objekty hospodaření s dešťovou vodou nám pomáhají adaptovat se na klimatické změny, zlepšit mikroklima ve městech, přiblížit se přirozenému hydrologickému cyklu atd.

Před naší civilizací se teď nachází výzva, jak naložíme do budoucna s vodou.





## 2 CÍLE PRÁCE

Hlavním cílem bakalářské práce je vypracování modelu akumulční nádrže a retenčního objektu pro rodinný dům a posouzení, zda standardně navržená akumulční nádrž splňuje požadavky na zadržení retenčního odtoku 5 - letého deště.

Jednotlivé dílčí cíle bakalářské práce:

- návrh variant pro posouzení systému,
- návrh akumulčního objemu na 21- denní zásobu,
- návrh sériově řazené retence s regulovaným odtokem,
- návrh akumulčního objemu na požadovanou bezpečnost,
- návrh časového rozložení odběru,
- matematický model plnění a prázdnění nádrže,
- návrh samostatného retenčního objektu s regulovaným odtokem,
- ekonomické posouzení navržených variant.

## 3 LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 3.1 HISTORIE ODVÁDĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Důležitost vody pro život si člověk uvědomoval odjakživa, proto stavěl svá obydlí vždy v blízkosti vodního zdroje. S rozvojem a vyšším osídlením začala růst spotřeba vody, ale i znečišťování životního prostředí. V rychle se rozvíjejících aglomeracích nastal problém se splaškovými vodami, které volně tekly po ulicích. Při dešti se mísily s dešťovým odtokem, znečišťovaly město a zdroje pitné vody. To bylo jednou ze základních příčin opakujících se epidemií. Proto začala v 19.století snaha o budování prvních moderních stokových systémů. Některé nám slouží až dodnes.

Původní účel stokování bylo hygienické zabezpečení a prevence zatopení intravilánu, proto se splašková a dešťová voda co nejrychleji odvedla mimo město (Vítek et al., 2015).

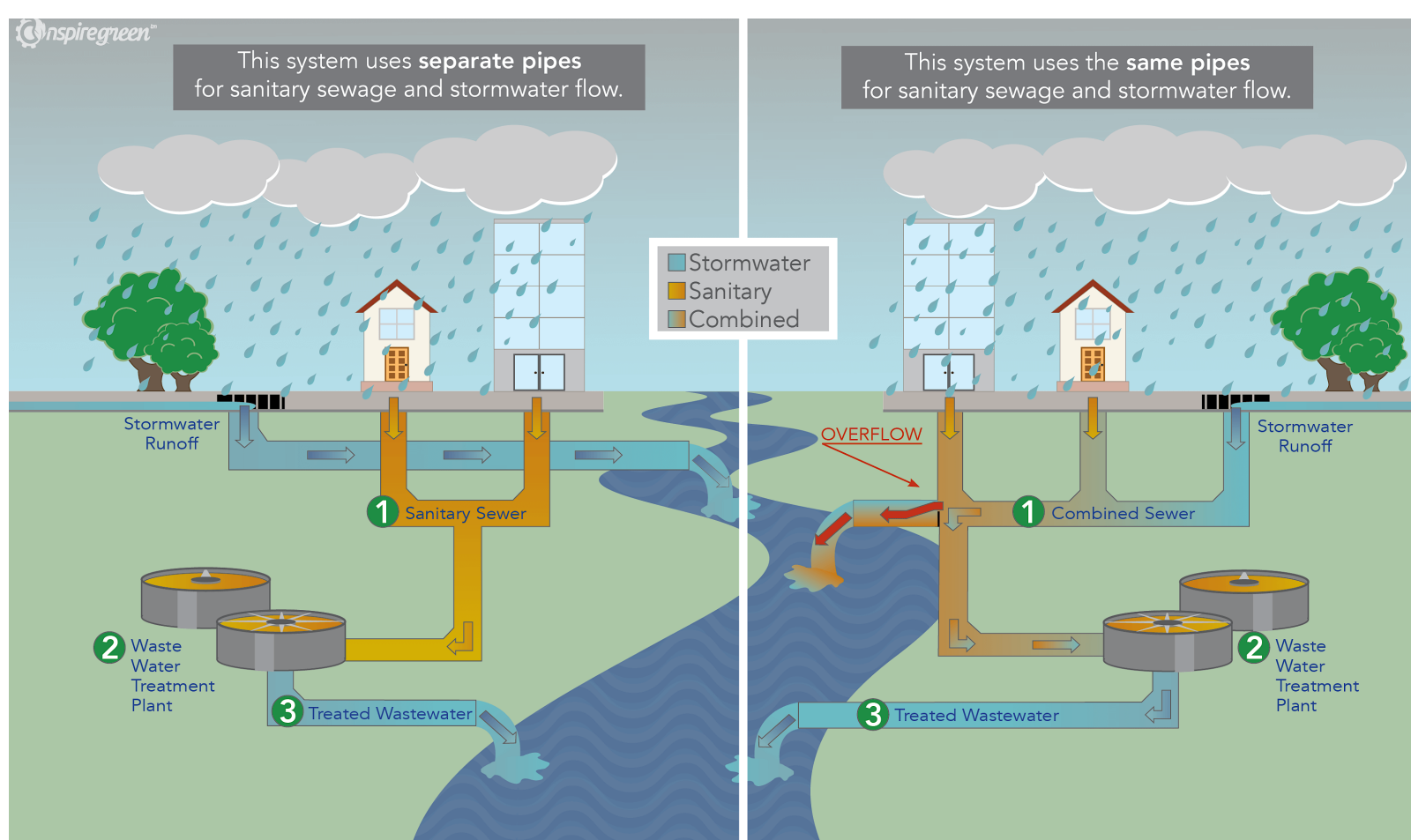
#### **Konvenční způsoby odvádění dešťových vod**

V konvenčním způsobu odvádění odpadních vod je dešťová voda chápána jako problém. Jako ideální řešení se nabízí, co nejrychleji vodu odvézt pryč z místa, kde spadla, a to pomocí kanalizace mimo zastavěné území.

Jednotné stokové systémy shromažďují veškeré odpadní vody včetně srážkových vod a odvádí je společnou kanalizací (srážková voda se stává vodou odpadní při vtoku do jednotné kanalizace). Z důvodu menších dimenzí, které nejsou navrženy na odvod veškerých odpadních vod, se na jednotné kanalizaci budují odlehčovací komory. Ty mají za úkol snížit důsledky přívalových dešťů, které způsobují lokální záplavy a přetěžování čistíren odpadních vod. Odlehčovací komory jsou dimenzovány tak, že při dostatečném naředění splaškových vod vodami srážkovými dochází k přímému přepadu do recipientu. To přináší několik hygienických a ekologických problémů, především dochází k látkovému znečištění a hydraulickému zatížení vodních toků.

Ke zlepšení oproti jednotným kanalizacím vede přechod na oddílnou stokovou soustavu, kde máme dvě oddělená stoková vedení, zvláště pro srážkové a splaškové vody. Splaškové vody jsou odváděny na čistírny odpadních vod a po vyčištění jsou vypouštěny do recipientu. Stokové vedení na dešťovou vodu je přímo zaústěno do recipientu, ale kvůli znečištění dešťových vod není ani tento způsob hygienicky nezávadný. Srovnání jednotné a oddílné kanalizace můžeme vidět na obrázku 1.

S narůstající urbanizací krajiny a v ní budovanými nepropustnými povrchy, které brání vsakování vody do půdy je většina dešťové vody svedena právě do takových stokových systémů a rychle odvedena pryč z urbanizovaného území. V důsledku toho vzniká řada problémů jako např. lokální záplavy, znečištění povrchových vod, eroze, snižování hladiny podzemní vody (Hlavínek et al., c2007), ale také změny mikroklimatu. Tyto problémy jsou v posledních letech ještě umocněny změnami klimatu. Tento způsob se v dnešní době ukazuje jako dlouhodobě neudržitelný. Ale v současnosti není reálné změnit historický charakter kanalizace všude, a to z mnoha důvodů, zejména vysokých nákladů (Vykydal, 2017).



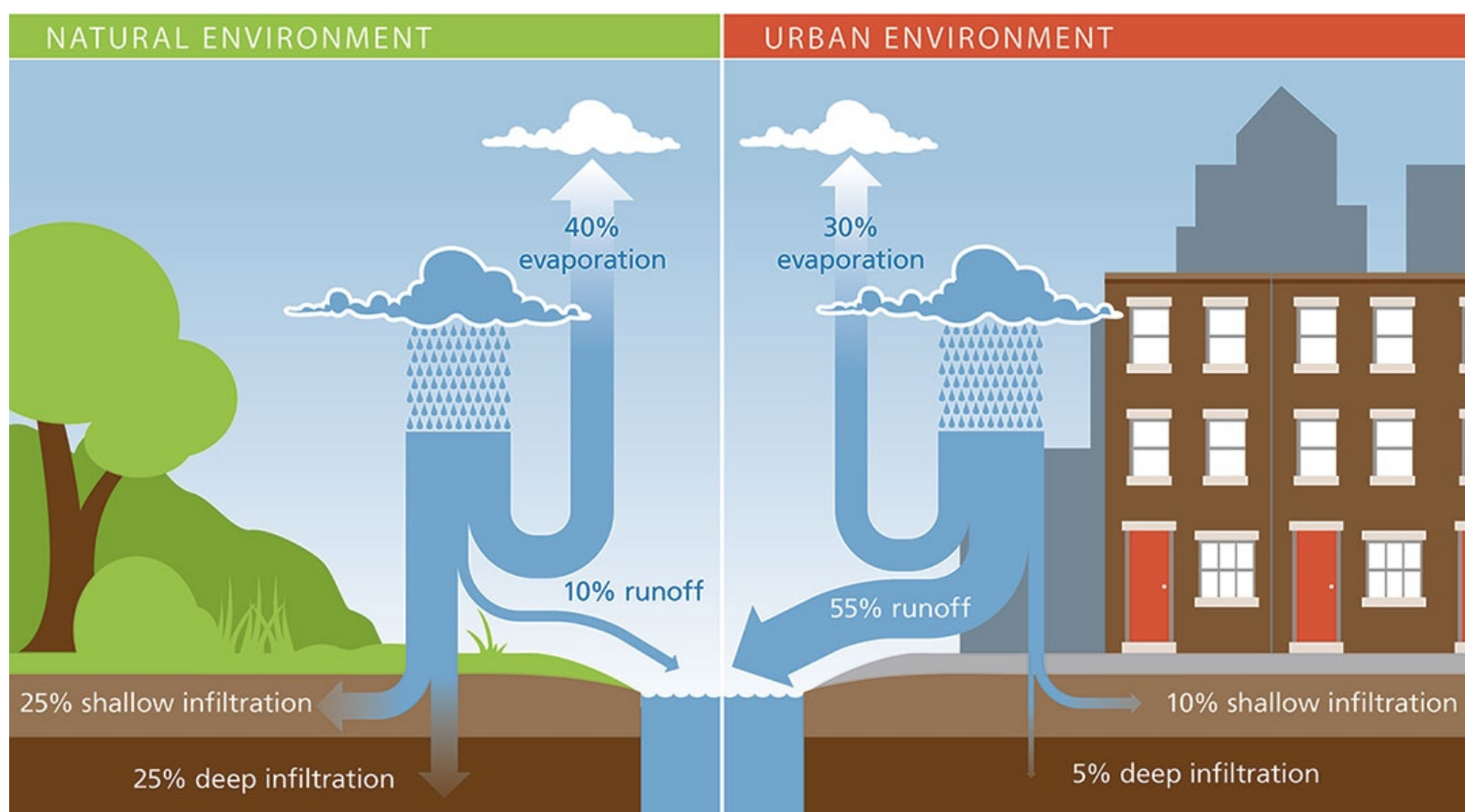
Obrázek 1: Schéma oddílné a jednotné stokové sítě (LimnoTech, 2019)

## Koloběh vody v přirozené a urbanizované krajině

Když spadne dešťová srážka na přirozený zemský povrch, část vody se vsákne do půdy a doplní zásoby podzemní vody, část se vrátí do atmosféry díky evapotranspiraci a část odteče po povrchu. Poměr závisí na typu povrchu, a liší se v čase během srážky. (Butler & Davies, 2004) Avšak víme, že většina vody se vsákne, a jen asi 10 % odteče po povrchu (viz. obr. 2)

Urbanizace mění přirozenou krajinu a zásadně ovlivňuje hydrologický cyklus. Tím, že nahrazujeme přirozeně propustný terén zpevněnými povrchy, jako jsou střechy budov, silnice, parkoviště apod., odstraňujeme přirozenou vegetaci, která zachycuje,

zpomaluje a vrací dešťové srážky do ovzduší. Ale týká se to i zemědělských ploch, kde jsou využívány nešetrné postupy, které zhoršují absorpční vlastnosti půdy a její schopnost zadržet vodu v krajině. To vše výrazně zvyšuje rychlost a množství vody, která odtéká po povrchu. (Ballard, 2007)



Obrázek 2: Srovnání odtoků z přirozeného a městského prostředí (Trumm, 2015)

## Decentrální systém

Dnes je snaha přecházet na decentrální stokový systém, který má opatření hned u jednotlivých objektů a řeší příčiny problému, ne až jeho důsledky. Od odpadních vod jsou odděleny dešťové vody. Splaškové vody jsou odváděny kanalizací na čistírny odpadních vod. S dešťovou vodou se snažíme hospodařit na pozemku v místě spadu, a to vsakováním, akumulací nebo regulací odtoku. K tomu slouží různá opatření, objekty a zařízení, které podporují výpar, vsak a zpomalení odtoku. V ideálním případě se dešťová voda dá zasakovat a doplňuje zdroje podzemních vod, tím se podporuje lokální koloběh vody. Častěji však máme podmínky pouze pro krátkodobou retenci dešťové vody, kterou následně předčištěnou vypouštíme kanalizací do povrchových vod. Podstatou je se postarat o přívalovou srážku v místě vzniku a nenechat ji odtéct pryč se stejnou intenzitou. Toto zpoždění a zrovnoměrnění odtoků přívalových dešťů má pozitivní vliv na životní prostředí (Vítek, 2008).

## 3.2 ZNEČIŠTĚNÍ SRÁŽKOVÝCH VOD

Dešťová voda vzniká v troposféře odpařováním vody, kde je považována za vodu destilovanou. Tudíž by se dalo předpokládat, že v ní nenalezneme žádné jiné rozpuštěné látky. (pocitamesvodou.cz, 2019) Nicméně tomu tak není a už při průchodu atmosférou dochází ke kontaminaci vody různými chemickými látkami, podle znečištění atmosféry. Dále při kontaktu s povrchem vzniká látkové znečištění. Míra znečištění je ovlivněna dopravou, občanskou vybaveností, urbanistickým řešením, podílem průmyslu atd. (Krejčí, 2003). To vše společně se podílí na výsledné kvalitě dešťových vod.

Znečištění zachycených dešťových vod můžeme dle původu rozdělit do 3 kategorií:

- rozpuštěné a nerozpuštěné látky v atmosféře,
- znečištění nahromaděné za bezdeštného období na urbanizovaných plochách, které je za deště odplavováno dešťovou vodou,
- znečištění, které vzniká při kontaktu s materiály na povrchu urbanizovaných území.

Míra znečištění v dešťovém odtoku je ovlivněna následujícími parametry:

- délka bezdeštného období,
- intenzita atmosférických srážek,
- objem dešťového odtoku.

Látkové znečištění obsažené v dešťovém odtoku má vyšší koncentrace na začátku. Potom s délkou odtoku postupně klesá, tento jev nazýváme první splach. To je důsledek počátečního vyplavování atmosférického znečištění, mobilizováním suché depozice a produkty koroze od posledního deště. Po oddělení prvního splachu (1- 3 mm deště) dochází k výraznému snížení látkového zatížení v zachycené dešťové vodě (Krejčí, 2003).

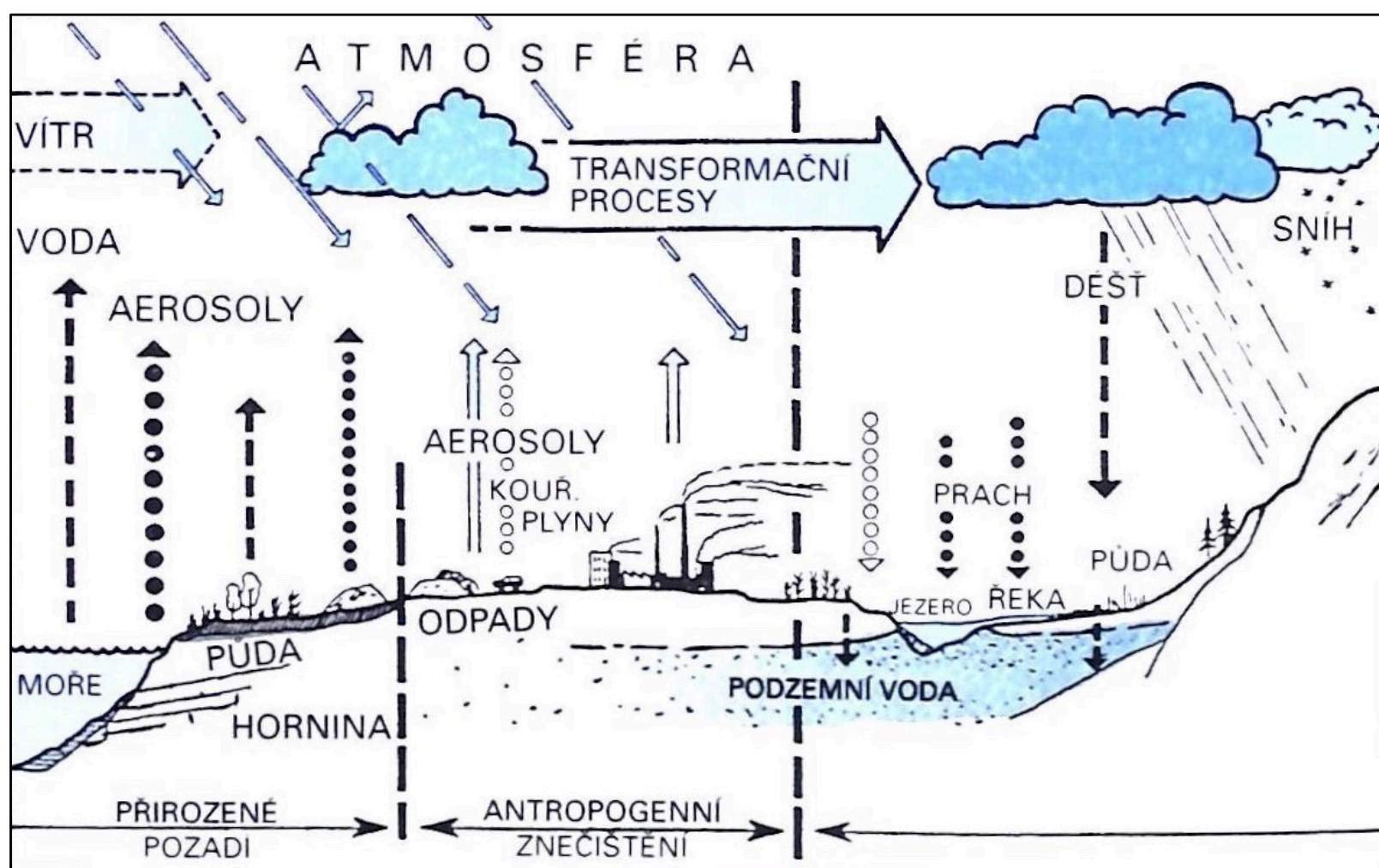
### 3.2.1 Znečištění srážek při prostupu atmosférou

Během deště se vymývá látkové znečištění obsažené ve vzduchu, tím dochází k čištění atmosféry. Hlavním zdrojem znečištění atmosféry je průmysl a doprava, proto je největší ve velkých městech a průmyslových oblastech.

Ze spalování fosilních paliv, z výfukových plynů motorových vozidel a mikrobiální denitrifikací v půdě a vodě vznikají sloučeniny síry (zejména SO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>S)



a sloučeniny dusíku ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ), které jsou zdrojem kyselin v atmosféře. Dalším zdrojem kyselin jsou sloučeniny chloru ze spalování umělých hmot s obsahem PVC (městské a průmyslové spalovny) (Hlavínek et al., 2007). Dále v menší míře obsahuje atmosféra zásadité látky, jejímž zdrojem je přirozené prostředí (uhličitany) a zemědělství (amonné ionty v hnojivech), těžké kovy, organické látky a rostlinné živiny (Krejčí, 2003). U klasické srážky se pH pohybuje okolo 5,6. Při velkém antropogenním znečištění prostředí, pH dešťových vod výrazně klesne a nastává problém „kyselých dešťů“ (pocitamesvodou.cz, 2019).



Obrázek 3: Schématické znázornění procesů v atmosféře (Krejčí, 2003)

### 3.2.2 Znečištění dešťových vod oplachem zpevněných ploch

Během bezdeštného období se na zpevněných plochách v urbanizovaném území hromadí znečištění („dust and dirt“ – prach a špína), to je za deště smýváno a odplavováno spolu s dešťovou vodou. Hlavními činiteli jsou automobilová doprava, průmysl, solení a posyp v zimním období, zvyšující se množství odpadků, znečištění od zvířat, vegetace a eroze zpevněných ploch. Vzniká tak znečištění pevnými částicemi, jako jsou např. částice různých velikostí a složení z degradace vozovky, ze zpevněných ploch a z budov. Dále listí, klacíky, exkrementy, posypový štěrk, písek a v neposlední řadě pohozené odpadky. Dále vzniká znečištění rozpuštěnými látkami, jako jsou např.:

polyaromatické uhlovodíky z paliva, chloridy z posypové soli, toxické látky (měď, chrom, zinek) z korodujících objektů, chemikálie z průmyslu. (Krejčí, 2003)

### 3.2.3 Znečištění dešťových vod při dotyku s povrchy

Při stékání dešťové vody z různých povrchů dochází k jejímu znečištění. Míra znečištění závisí na typu povrchu, použitém materiálu a jeho stavu. Vlivem mrazu, slunce, vody, koroze a chemických reakcí dochází k opotřebení a postupnému uvolňování částecek a látek. Jsou to např.: částecčky krytin, cihel, betonu, nátěru, asfaltu atd. (Hlavínek et al., c2007).

## 3.3 HOSPODAŘENÍ S DEŠŤOVOU VODOU

V posledních několika letech začínáme více vnímat změny klimatu. Přívalové srážky jsou intenzivnější a častější během roku. Ale přicházejí až po delších obdobích sucha. Tyto skutečnosti způsobují zhoršující se problémy konvenčního odvádění dešťových vod. Hospodaření s dešťovou vodou (dále jen HDV) spočívá na principu maximalizace přínosů a minimalizace negativních dopadů odtoku srážkových vod z urbanizovaných oblastí. Snažíme se co nejvíce napodobit přirozený hydrologický cyklus, nebo dešťovou vodu ještě dále využít.

### 3.3.1 Předčištění srážkových vod

Jak je již výše popsáno, dešťová voda je vždy méně či více znečištěna. Proto je důležité ji nejprve předčistit. Až pak s ní můžeme dále hospodařit. Předčištění je proces, který chrání objekt a příjemce srážkových vod. Pro předčištění jsou využívány objekty pro zachycení hrubých nečistot a nerozpuštěných látek. Dále jsou využívány procesy snižující koncentrace těžkých kovů, zadržení ropných látek, patogenů a zařizující rozklad organických látek.

Způsob, kterým vodu vyčistíme je závislý na typu a míře znečištění. Oborová norma TNV 75 9011 uvádí jednotlivé způsoby vhodné pro předčištění dle typu a míry znečištění a následného využití dešťové vody. Návrh předčištění je vždy individuální a musí být zohledněna následující 2 kritéria.


Jaké bude následné využití srážkových vod:

- vsakování do půdního a horninotvorného prostředí,
- akumulace a následné využití v domácnosti,
- odvádění do povrchových vod,
- odvádění jednotnou kanalizací.

Jaká je míra znečištění srážkových vod:

- malé, nízké,
- střední,
- vysoké.

Tabulka 1: Orientační tabulka míry znečištění srážkových vod (TNV 75 9011, 2013)

Typ plochy	Míra znečištění srážkových vod	Klasifikace znečištění srážkových vod
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vegetační střechy</li> <li>- Střechy z inertních materiálů</li> <li>- Střechy s kovovými částmi do 50 m<sup>2</sup></li> <li>- Komunikace pro pěší a cyklisty</li> <li>- Málo frekventovaná parkoviště osobních aut</li> <li>- Málo frekventované dopravní komunikace<sup>a</sup> (příjezdy k domům)</li> </ul>		nízké
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Střechy s kovovými částmi 50 m<sup>2</sup> až 500 m<sup>2</sup></li> <li>- Středně frekventované dopravní komunikace<sup>b</sup></li> <li>- (Vysoce) frekventovaná parkoviště (osobní auta a autobusy)</li> </ul>		střední
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Střechy s kovovými částmi nad 500 m<sup>2</sup></li> <li>- Vysoce frekventované dopravní komunikace<sup>c</sup></li> <li>- Plochy u skladů, manipulační plochy</li> <li>- Komunikace zemědělských areálů</li> <li>- Parkoviště nákladních aut<sup>d</sup></li> </ul>		vysoké

Níže jsou popsány jednotlivé způsoby předčištění, ty můžeme aplikovat samostatně nebo je kombinovat pro zvýšení účinnosti.

## Hrubé nečistoty

Jako ochrana pro další stupně předčištění a pro vsakování do podzemních vod je nutno navrhnout zařízení pro zachycení hrubých nečistot (splavenin). Používají se síta, česle, lapače listů a vtokové mřížky.

## Gravitační separace

Princip gravitační separace spočívá v odlišných fyzikálně-chemických vlastnostech látek obsažených ve směsi, především jejich rozdílná hustota. (Paidar, 2017) Kal, hlína, písek a posypové látky se usazují na dně sedimentačních zařízení, jako jsou



kalové jímky či usazovací nádrže. Tím chráníme vsakovací zařízení před ucpáváním, naplavováním nečistot a postupným snižováním propustnosti zemin. Tento stupeň předčištění je nezbytný pro podzemní vsakování.

Na stejném principu separace látek různé hustoty pracují také odlučovače lehkých kapalin, akorát separace probíhá na hladině. U nátoky vody do odlučovače se nachází kalový prostor, kde nejprve dochází k usazování mechanických nečistot. Současně dochází k prvnímu odlučování lehkých látek na hladině. V další sekci v tzv. odlučovacím prostoru dochází k intenzifikaci separace a koalescenci lehkých kapalin od srážkových vod a jejich následnému skladování. Odlučovače mohou mít i 3. stupeň procesu, a to adsorbční prostor, kde dochází k zachycení zbytku lehkých kapalin. Mezi lehké kapaliny řadíme uhlovodíky (hustota  $<950 \text{ kg/m}^3$ ), které nejsou rozpustné a zmýdelnitelné ve vodě jako např. pohonné hmoty, maziva, ředidla apod. Nepatří mezi ně tuky a oleje rostlinného původu. (TNV 75 9011, 2013)

### Filtrace mechanická

Filtrace je fyzikální proces, kdy pomocí filtru odstraňujeme z kapaliny nerozpuštěné látky na základě velikosti jejich částic. Částice, které jsou větší než „oka“ filtru neprojdou a zůstávají zachycené na filtru. Pro mechanickou filtraci se používají geotextilie, pískové a šterkové filtry. *Zrnitost materiálu a tloušťka filtrační vrstvy pískových a šterkových filtrů se navrhuje podle očekávaného zatížení, přičemž filtrační rychlost by měla být nejvýše 15 m/h.* (TNV 75 9011, 2013) Při použití porostlých a zemních filtrů dochází navíc i k adsorpci a biologickému čištění (odstraňuje organické znečištění), které odstraní některé rozpuštěné látky.

### **Filtrace přes adsorpční vrstvu**

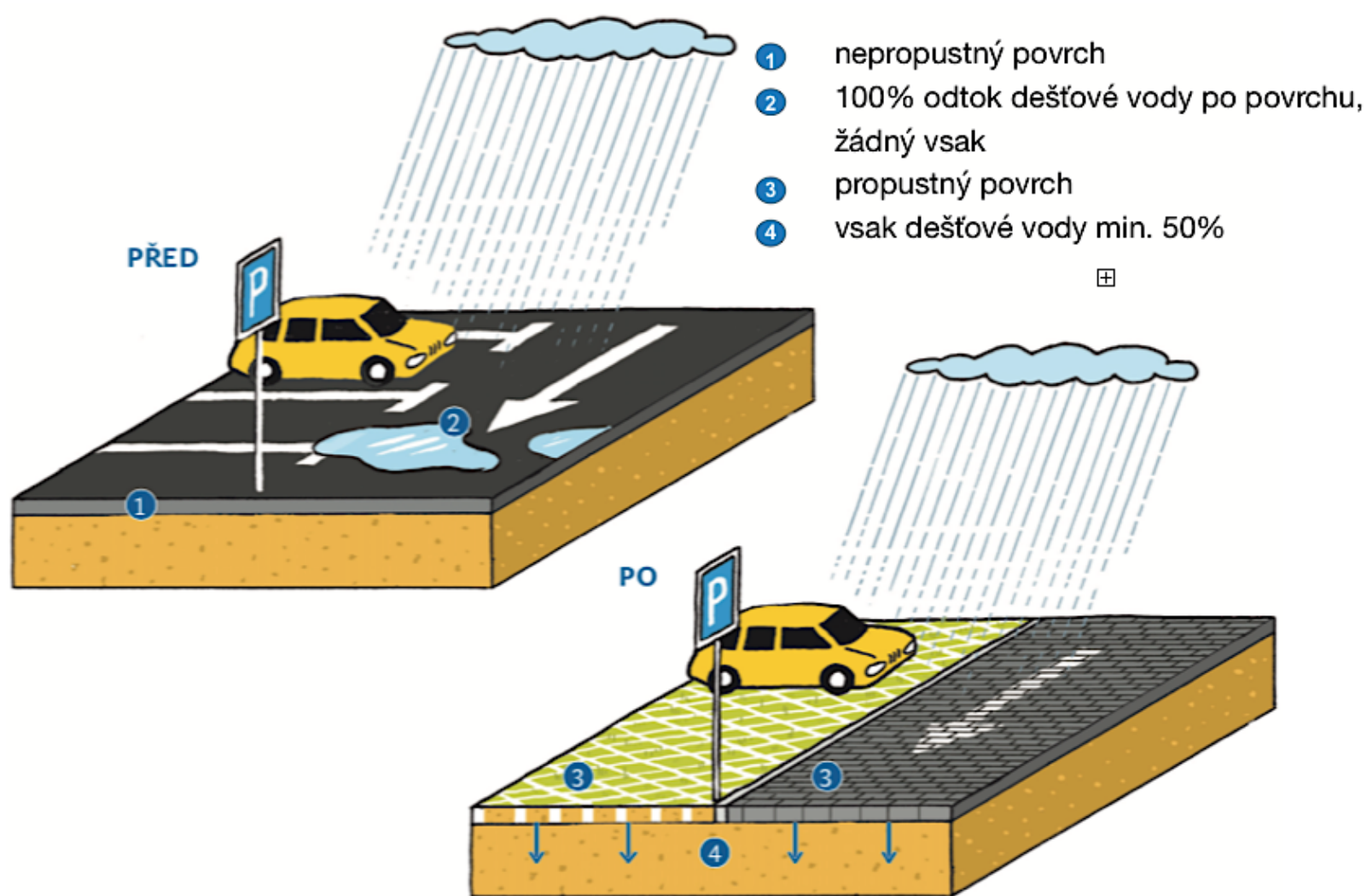
Dále se používá filtrace přes adsorpční látky, tj. aktivní uhlí, zeolity, granulované hydroxidy železa a hliníku, textilie, vata atd. Ty dokáží z dešťové vody odstranit uhlovodíky, těžké kovy, oleje a organické látky (TNV 75 9011, 2013). Tyto zařízení většinou slouží až jako další stupeň předčištění srážkových vod. Je důležité zařadit před filtraci přes adsorpční vrstvu mechanické filtraci, jinak by mohlo docházet k poškození a špatné funkci adsorpční vrstvy.

### **Filtrace přes zatravněnou humusovou vrstvu**

Tento typ filtrace se využívá u všech typů povrchového vsakování (viz. kapitola 3.3.2). Při průchodu přes zatravněnou humusovou vrstvu dochází k odstraňování nerozpustných látek, iontové výměně a adsorpci těžkých kovů a uhlovodíků, a k rozkladu biologického znečištění. Tento způsob filtrace se z ekologického hlediska jeví jako nejvýhodnější. Norma TNV 75 9011 uvádí, že svrchní krycí vrstva je tvořena humusem o tloušťce min. 20 cm, obsah jílu cca 10 %, obsah humusu min 3 %, hodnota pH 6 až 9 a hydraulická vodivost je maximálně  $K = 10^{-5}$  m/s (jinak by byla snížena účinnost). Spodní podkladní vrstva je tvořeno písčitojílovitou půdou o min tloušťce 30 cm, obsah jílu cca 10–35 % a obsah humusu pod 1 % (TNV 75 9011, 2013).

### **3.3.2 Zachování propustných povrchů**

Při návrhu HDV je v první řadě v co největší míře ponechat přirozený nezpevněný povrch, kde se voda může přirozeně vsakovat. To v urbanizovaném území není možné 100 % zachovat, a tak se snažíme minimalizovat nepropustné zpevněné povrchy. Ty při vhodných podmínkách můžeme nahrazovat zpevněnými povrchy z propustných a polopropustných materiálů, používají se např. kamenná či betonová dlažba s pískovými spárami, zatravnovací dlažba a rošty, porézní asfalt, zatravněné šterkové vrstvy atd. Tyto opatření se většinou využívají jako cesty v parcích, pro některé místní komunikace (málo frekventované), na parkovištích, na náměstích apod. (Hlavínek et al., c2007).



Obrázek 4: Schéma výměny nepropustných povrchů za propustné (ENVI-PUR, 2019)

### 3.3.3 Výpar

Tzv. zeleno-modrá infrastruktura nám z hlediska HDV podporuje výpar, umožňuje zasakování vody a zpomaluje její odtok. Má však i další přínosy pro město a život v něm. Díky vypařování a evapotranspiraci z vodních ploch a vegetace dochází k ochlazování okolí, což může přispět ke snížení nárůstu teploty ve městech (efekt městského tepelného ostrova) (Ballard, 2007). Patří do ní veškeré vodní a zelené plochy ve městech, např. zelené střechy a fasády, zeleň ve veřejných prostorech a parky.

#### Vegetační (zelené) střechy

Vegetační střechy nám mohou zvětšovat podíl zeleně i v celozastavěných částech měst. Kromě již zmíněných funkcí mají zelené střechy pro samotnou budovu funkci ochranou a ekonomickou. Vegetační plochy odrážejí sluneční záření, a absorbují méně tepla, tím udržují v letních měsících chladnější teploty v budovách. V zimních měsících fungují naopak jako izolace, a tím zajišťují energetickou úsporu (Ballard, 2007).



Zelené střechy jsou složeny z několika vrstev, a to konstrukce střechy, filtrační vrstvy a vegetačního souvrství. Při návrhu musíme počítat s vyššími statickými požadavky a zatížením nosné konstrukce budovy. Většinou se vegetační pokryv navrhuje na ploché střechy a na šikmé střechy do maximálního skonu 1:3. Můžeme se setkat s jejich aplikací i na strmých střechách nebo fasádách. Podle účelu a funkce střechy se navrhne vhodný druh a skladba vegetace zelené střechy.

Rozlišujeme 3 druhy vegetace:

- intenzivní,
- polointenzivní (jednoduché intenzivní),
- extenzivní.

Návrh realizujeme s ohledem na převažující funkce, možnosti přístupu na střechu, její polohu vůči terénu a možnosti údržby vegetace (Sweco Hydroproject, 2013).



Obrázek 5: Příklad intenzivní zelené střechy, střešní zahrady (Optigroen, 2019)



Obrázek 6: Příklad extenzivní zelené střechy na Walter Reed CC (Arlington County, 2004)

### 3.3.4 Vsakování

Přírozený vsak v místě vzniku srážky podporuje lokální hydrologický cyklus, voda je čištěna půdními procesy a má pozitivní vliv na stav podzemních vod. Při HDV by měla být infiltrace do půdního prostředí preferovaná metoda. Musíme však mít vhodné podmínky, které si ověříme geologickým průzkumem pro vsakování srážkových povrchových vod. Geologický průzkum v dané lokalitě zkoumá hydrogeologické, inženýrskogeologické a geotechnické poměry s cílem vyhodnotit vhodnost horninového prostředí pro vsakování (ČSN 75 9010, 2012). Povinnost geologického průzkumu je dána normou ČSN 75 9010 a jeho výstupy je nutno respektovat.

Vsakování dělíme do 2 kategorií:

- povrchové:
  - plošné vsakování
  - vsakovací průleh
  - vsakovací průleh – rýha
  - vsakovací nádrž
- podzemní:
  - vsakovací rýha
  - vsakovací šachta
  - podzemní prostor vyplněné štěrkovými materiály nebo bloky

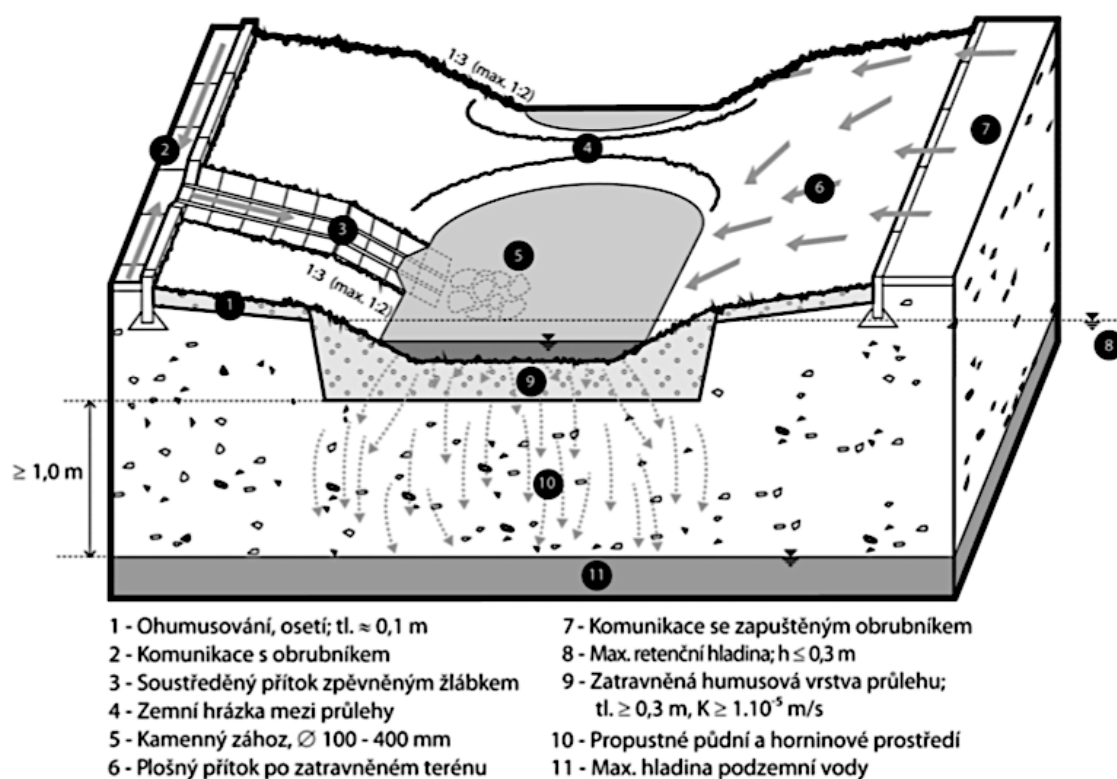
#### Plošné vsakování

Jedná se o nejjednodušší opatření, kdy vsakujeme skrz zatravněnou humusovou vrstvu se sklonem nejvýše 1:20 a přitom nedochází k jakékoliv retenci. Infiltrační schopnost povrchu musí být větší než rychlost očekávaného odtoku, to bývá většinou těžko proveditelné. Proto má toto opatření vysoké nároky na zasakovací plochu. Při překročení návrhové kapacity, musí být navrženo technické opatření, které odvede přebytečnou vodu do povrchových vod, kanalizace nebo dalšího objektu HDV. Poměr mezi redukovanou odvodňovanou plochou a vsakovací plochou je zhruba  $A_{\text{red}}/A_{\text{vsak}} \leq 5$  (TNV 75 9011, 2013).



## Vsakovací průleh

Při nedostatečné ploše nebo vsakovacích schopnostech pro plošné vsakování se volí návrh mělké tvarované prohlubně – zasakovacího průlehu. Často se používá v blízkosti liniových staveb jako jsou dopravní komunikace, cesty a u parkovišť. V průlehu dochází ke krátkodobému zadržení vody, než se vsákne do podloží. Míra vzduť by neměla být vyšší než 300 mm. Jinak by mohlo docházet k delšímu zadržování vody, to je nežádoucí z důvodu úhynu vegetace a zhoršení vsakovacích schopností. Niveleta dna průlehu se navrhuje vodorovná, aby docházelo k co nejrovnoměrnějšímu zasakování vody. Voda je přiváděna po povrchu, vhodnější je rovnoměrný přívod po délce průlehu, bodový přítok je třeba opevnit. Poměr mezi redukovanou odvodňovanou plochou a vsakovací plochou se nachází zhruba v rozmezí  $5 < A_{\text{red}}/A_{\text{vsak}} \leq 5$  (TNV 75 9011, 2013).



Obrázek 7: Schéma vsakovacího průlehu s povrchovým přítokem (TNV 75 9011, 2013)

## Vsakovací průleh – rýha

Pod průlehem se zatravněnou humusovou vrstvou je vybudována rýha, která je vyplněna štěrkem odpovídající frakce nebo zemními boxy. Vsakovací průleh-rýha se navrhuje na místech, kde horní méně prostupné vrstvy půdy chceme propojit s vrstvami propustnějšími, a zvětšit celkový retenční prostor. Retenční prostory průlehu a rýhy pracují každý samostatně, mají vlastní procesy plnění a prázdnění. Maximální míra vzduť v průlehu je 300 mm. Poměr mezi redukovanou odvodňovanou plochou a vsakovací plochou se nachází zhruba v rozmezí  $5 < A_{red}/A_{vsak} \leq 15$  (TNV 75 9011, 2013).

## Vsakovací nádrž

Vsakování do podloží probíhá přes zatravněnou humusovou vrstvu stejně jako u průlehu, ale retenční funkce je výrazně vyšší. Hloubka nádrže se pohybuje od 0,3 m až po 2,0 m. Sklony svahů by kvůli bezpečnému pohybu osob a zvířat neměli přesáhnout poměr 1:4. A sklon větší než 1:2 se nenavrhuje vzhledem je stabilitě zatravněných svahů. *O vsakovací nádrž se jedná, pokud je poměr mezi redukovanou odvodňovanou plochou a plochou pro vsakování  $A_{red}/A_{vsak} > 15$ .* (TNV 75 9011, 2013)

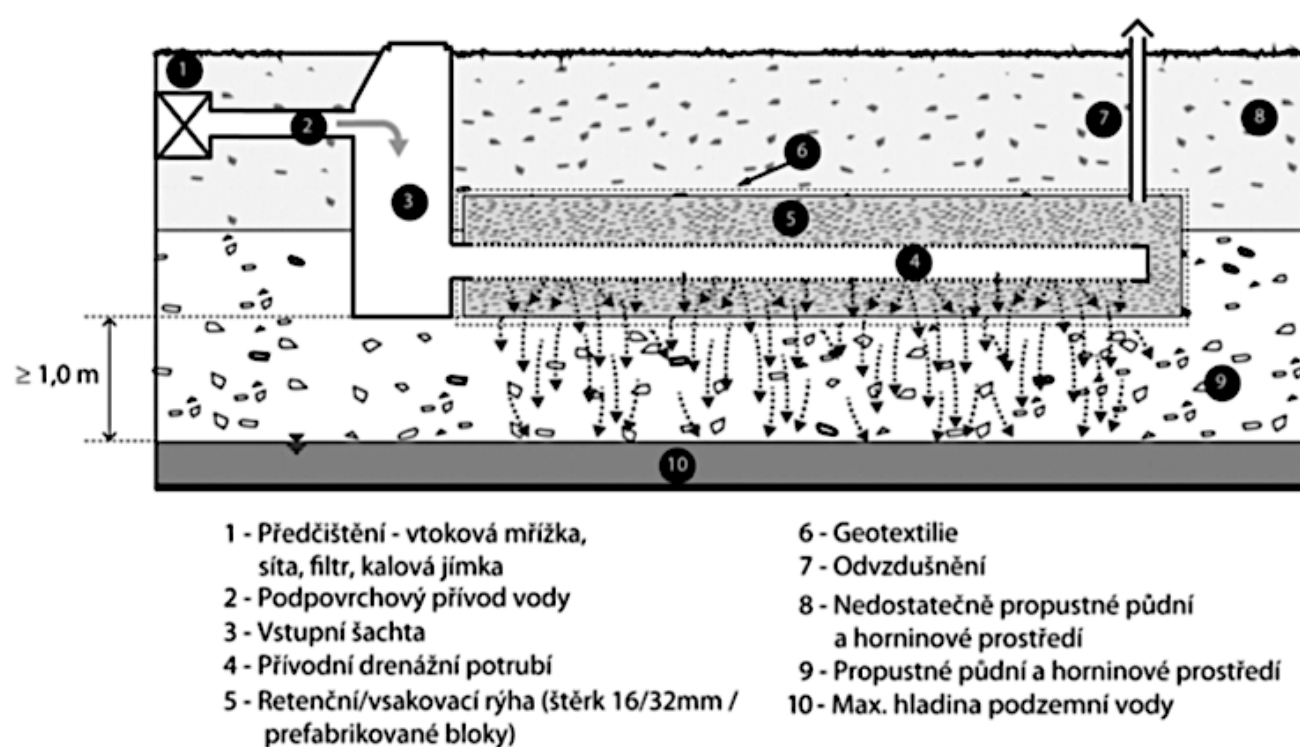


Obrázek 8: Vsakovací nádrž u budovy Delta, Praha (pocitamesvodou.cz, 2019)



## Vsakovací rýha

Vsakovací rýha je hloubený objekt vyplněný štěrkovým materiálem o doporučené zrnitosti nebo vsakovacími bloky. V objektu dochází k retenci a vsakování do propustnějších půdních a horninových vrstev. Vsakovací rýha může být plněna povrchovým nebo podpovrchovým přítokem. U plnění po povrchu je doporučený rovnoměrný přítok přes vegetační pás, kde dochází k předčištění. A u plnění podpovrchové je nutno před vstupní šachtu umístit objekty pro předčištění, aby nedocházelo k zanášení a následnému snižování infiltračních schopností rýha (Vítek et al., 2015).



Obrázek 9: Vsakovací rýha s podpovrchovým přítokem (TNV 75 9011, 2013)

## Vsakovací šachta

Při nedostatku místa se využívají podzemní vsakovací šachty, které slouží k bodovému zasakování. Zpravidla jsou tvořena ze skruží, jejichž hloubka je větší než jejich půdorys. Avšak jejich použití je omezeno pro určité typy odvodňovaných ploch. Vhodnost umístění a velikost šachty závisí na ochraně jímacích zdrojů a ochraně podzemních vod. (Vítek, 2008)

## Podzemní prostory vyplněné štěrkovými materiály nebo bloky

Jedná se o podzemní objekty sloužící k plošné infiltraci dešťové vody do propustnějších vrstev. Pro podporu vsakování se využívají propustné štěrkové materiály nebo prefabrikované bloky. Voda do podzemních prostor natéká přes vstupní šachtu nebo otvor. Před objekt je nutno předřadit objekt pro čištění srážkových vod, navržený dle jakosti znečištění vody (TNV 75 9011, 2013).



### 3.3.5 Akumulace

Akumulovat dešťovou vodu je vhodné až po předčištění, kdy dojde k odstranění nečistot spolu s přebývajícími bakteriemi. Z hygienických důvodů není vhodné dešťovou vodu skladovat příliš dlouho dobu. Doporučuje se umístění nádrže do země, kde není nádrž vystavena přímému slunečnímu svitu a kolísání teplot, to by mohlo způsobit rozmnožování mikroorganismů. Nádrže se také mohou umístit na povrch terénu nebo do sklepení.

Hlavní je dodržování několika hygienických podmínek a zamezení vlivů, které ohrožují kvalitu akumulované vody:

- předčištění před samotnou akumulací,
- ochrana před přímým slunečním zářením,
- těsné zakrytí zásobníku, uzavření proti přístupu hmyzu a dalších nečistot,
- zamezení vzduchu a přístupu plynů z kanalizace,
- umožnění sedimentace na dně (klidný nátok, odběr alespoň 15 cm nade dnem),
- uzavření proti přístupu hmyzu a dalších nečistot,
- pravidelné provádění kontrol a údržby.

Objem nádrže je navržen podle velikosti odvodňované plochy a předpokládané spotřeby dešťových vod. (Dvořáková, 2007) Nádrž je vybavena přítokem, který je navržen tak, aby přitékající voda nevířila nečistoty usazené na dně a bezpečnostním přepadem, který brání jejímu přeplnění. Nádrže se vyrábějí z plastu, betonu, sklolaminátu a oceli. Dešťovou vodu jímáme, abychom ji mohli následně využít např. v domácnosti nebo pro zalivku zahrady či městské zeleně.



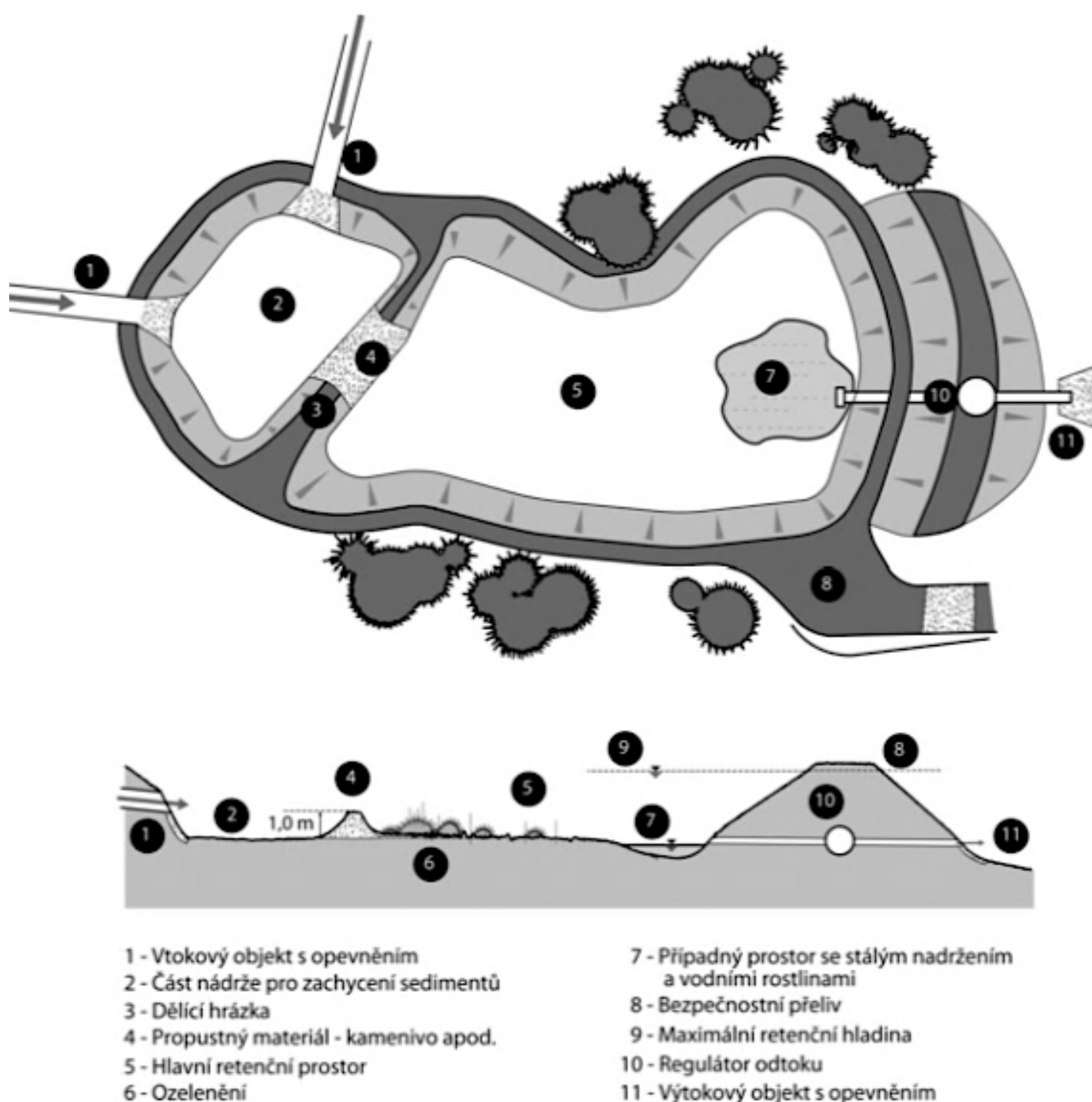
Obrázek 10: Betonová jímka na dešťovou vodu umístěná pod terénem (HB jímky, 2019)

### 3.3.6 Retence s regulovaným odtokem

Nádrže na retenci se navrhují, když je potřeba zdržení a transformace odtoku před odvedením do kanalizace nebo recipientu. Každý objekt pro retenci musí být vybaven regulátor odtoku a bezpečnostním přelivem, k převedení vyšších srážek, než jsou návrhové (Vítek et al., 2015). Obecně se retenční nádrže navrhují suché nebo se zásobním prostorem. Retenční nádrže se dělí na povrchové a podzemní. Z hlediska podpory výparu a okrasné funkce upřednostňujeme navrhování povrchových nádrží.

#### Poldry (suché retenční nádrže)

Poldry jsou suché povrchové retenční nádrže. Celý jejich navrhovaný objem slouží k zachycení dešťového odtoku. Jejich zátopa se většinou navrhuje s vegetačním pokryvem, a je zemědělsky či lesnický využívána. Poldry se navrhují jako průtočné nebo neprůtočné (boční). (Vítek, 2008)



Obrázek 11: Suchá retenční dešťová nádrž (poldr) (TNV 75 9011, 2013)



## Retenční nádrže se zásobním prostorem

Retenční povrchové nádrže slouží k zadržení vody, která odtéká při dešti z odvodňované plochy. Retenční nádrže se navrhují tak, aby transformovaly povodňovou vlnu na požadovaný neškodný průtok, to je dosaženo správným návrhem regulátoru odtoku. Nádrže jsou po naplnění postupně vyprazdňovány až po hladinu zásobního prostoru. Ve městech tyto nádrže plní i estetickou funkci, případně rekreační (TNV 75 9011, 2013). Pro snížení rizika zanesení nečistot a sedimentů do retenční nádrže a zásobního prostoru, se u vtoku navrhuje oddělený prostor pro usazování. Při vysazení vegetace v retenční nádrži nám vzniká biotop, přes který je možné biologické čištění (Vítek et al., 2015).

## Podzemní retenční nádrže

Podzemní retenční nádrže se navrhují při nedostatku prostoru pro povrchové nádrže, tvoří je většinou potrubí velkého průměru nebo vodotěsné jímky. Ty se umísťují pod úroveň terénu a upřednostňuje se umístění vně budovy. Podmínkou správného návrhu je uzavíratelný otvor pro přístup a odvětrání. (TNV 75 9011, 2013)

## Umělé mokřady

Jsou to uměle vytvořené mělké nádrže se zásobním objemem a stálým nadržáním. Umělé mokřady slouží ke zlepšení vlhkostních poměrů, retenci a regulaci odtoku vody. Součástí nádrže je výsadba vodních rostlin zajišťuje funkci biologického čištění, které zlepšuje kvalitu vody. (TNV 75 9011, 2013)



Obrázek 12: Umělé mokřady Qunli Stormwater Wetland Park, Čína (ArchDaily, 2013)

### 3.4 ZPŮSOBY NÁVRHU OPATŘENÍ HDV

Při návrhu opatření HDV se řídíme 3 základními metodickými principy:

- kdo je příjemce srážkových vod,
- proveditelnost technického provedení,
- přípustnost způsobu odvodnění.

Nejprve se rozhodneme, kdo bude příjemcem dešťových vod a podle toho navrhujeme způsob odvodnění. Příjemcem může být domácnost, ovzduší, půdní a horninové prostředí, povrchové vody nebo jednotná kanalizace. V dalších krocích zkoumáme technickou proveditelnost a přípustnost způsobu odvodnění. Proveditelnost je zkoumána v pořadí priorit, priority způsobu odvádění jsou uvedeny v TNV 75 9011 v kapitole 4.1.5. Proveditelnost závisí hlavně:

- na velikosti odvodňované plochy a míře srážkového odtoku,
- na geologických podmínkách,
- na možnostech odvádění a jejich dostupnosti,
- na retenčních schopnostech,
- na stavebním a technologických možnostech,
- na sousedsko-právních vztazích.

Přípustnost způsobu odvodnění se posuzuje v závislosti na příjemci srážkových vod. Hlavním kritériem je ochrana podzemních a povrchových vod a půdy. Nakládání se srážkovými vodami závisí na míře jejich znečištění. Zpravidla nemísíme málo a vysoce znečištěné srážkové vody, ani srážkové vody s různým typem znečištění, kde je vyžadováno různý způsob předčištění (Stránský, 2015).

V České republice existují dva technické předpisy, která nám udávají, jak správně postupovat při volbě návrhu HDV. První předpis je norma ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod, druhý je norma TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami.

#### 3.4.1 ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod

Cílem normy je stanovit hlavní zásady pro návrh, výstavbu a následující provoz povrchových a podzemních vsakovacích zařízení. Norma řeší pouze vsakování pro jednotlivé objekty a nezaobírá se komplexnějším návrhem objektů HDV. Vymezuje rozsah a metody geologického průzkumu a podmínky omezení pro vsakování srážkových

povrchových vod. Uvádí nám souhrn v současnosti používaných vsakovacích zařízení i postupy s příklady výpočtu jejich retenčních objemů. A řeší míru zabezpečení proti přeplnění vsakovacích zařízení a přetékání srážkových vod na povrch.

### **3.4.2 TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami**

TNV 75 9011 řeší problematiku HDV komplexně a doplňuje nedostatky normy ČSN 75 9010. Předmět této normy je v první řadě decentrální způsob odvádění srážkové vody především na pozemku stavby. Dále jsou zde uvedena i centrální opatření, ty jsou však zařazena až za decentrální zařízení (řetězení do sérií). Opatření respektují principy přírodě blízkého odvodnění.

Součástí této normy je návod, který pomáhá správně vybrat příjemce srážkových vod a navrhnout vhodná technická řešení. Norma se zabývá problematikou znečištění srážkových vod. Dále popisuje objekty vhodné pro využití hospodaření s dešťovými vodami i s výpočetními postupy pro dimenzování a informace k jejich následné údržbě a provozu.

## **3.5 PRÁVNÍ PŘEDPISY ČR A MOTIVACE**

Zásadními právními předpisy, které stanovují požadavky a věnují se vodnímu hospodářství, a zvláště dešťové vodě jsou tyto:

- Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon),
- Vyhláška č.501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území,
- Vyhláška č.269/2009 Sb. vyhláška, kterou se mění vyhláška č.501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území,
- Zákon č. 274/2001 Sb. zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).

### **3.5.1 Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)**

Hlavní účel tohoto zákona je ochrana povrchových a podzemních vod. Zákon stanovuje podmínky udržení a zlepšení jakosti vod a šetrné využívání zdrojů vody. Dále popisuje právní vztahy k povrchovým a podzemním vodám, k jejich využívání a ochraně a vztahy k pozemkům a stavbám přímo souvisejícím s těmito vodami.

Zákon uvádí mezi základními povinnostmi nakládáním s vodami v § 5 odstavci 3: „*Při provádění staveb nebo jejich změn nebo změn jejich užívání jsou stavebníci povinni podle charakteru a účelu užívání těchto staveb je zabezpečit zásobováním vodou a odváděním, akumulací nebo čištěním odpadních vod s následným vypouštěním do vod povrchových nebo podzemních odpadních vod z nich v souladu s tímto zákonem a zajistit vsakování nebo zadržování a odvádění povrchových vod vzniklých dopadem atmosférických srážek na tyto stavby (dále jen „srážkové vody“) v souladu se stavebním zákonem. Bez splnění těchto podmínek nesmí být povolena stavba, změna stavby před jejím dokončením, užívání stavby ani vydáno rozhodnutí o dodatečném povolení stavby nebo rozhodnutí o změně v užívání stavby.*“

To znamená, že jsme povinni aplikovat HDV nejen u novostaveb, ale i u stávajících staveb, u kterých provádíme rekonstrukci nebo měníme způsob jejich využití. To se může při provádění některých změn zdát neúměrné. Posouzení, zda je nutné vybudování opatření HDV u těchto změn provádí příslušný místní stavební úřad, případně krajský úřad. Z tohoto důvodu může docházet k různé interpretaci a prosazování v rámci ČR (Vítek et al., 2015).

### **3.5.2 Vyhláška č. 501/2006 Sb. o obecných požadavcích na využívání území**

V této vyhlášce se uvádí požadavky nakládání se srážkovou vodou při vymezení a využívání ploch a pozemků. Jasně nám popisuje priority při nakládání se srážkovými vodami, určuje příjemce a způsob odvádění. Vyhláška stanovuje v § 20 v odstavci 5 nutnost vymezení stavebního pozemku tak, aby na něm bylo vyřešeno

- c) „*vsakování nebo odvádění srážkových vod ze zastavěných ploch nebo zpevněných ploch, pokud se neplánuje jejich jiné využití; přitom musí být řešeno*
1. *přednostně jejich vsakování, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, není-li možné vsakování,*
  2. *jejich zadržování a regulované odvádění oddílnou kanalizací k odvádění srážkových vod do vod povrchových, v případě jejich možného smísení se závadnými látkami umístění zařízení k jejich zachycení, nebo*
  3. *není-li možné oddělené odvádění do vod povrchových, pak jejich regulované vypouštění do jednotné kanalizace.*“

Z odstavce vyplývá, že pokud nebude voda akumulována a dále využívána (např. v domácnosti) je třeba navrhnout objekty pro vsakování. Pokud není vsakování možné, je třeba navrhnout retenci s regulovaným odtokem. Objekty HDV musí být umístěn na pozemku majitele odvodňované stavby.

Dále vyhláška udává v § 21, kdy jsou výše uvedené podmínky vsakování na pozemku staveb pro bydlení a rekreaci splněny. „*Vsakování dešťových vod na pozemcích staveb pro bydlení je splněno [§ 20 odst. 5 písm. c)], jestliže poměr výměry části pozemku schopné vsakování dešťové vody k celkové výměře pozemku činí v případě*

- a) samostatně stojícího rodinného domu a stavby pro rodinnou rekreaci nejméně 0,4,*
- b) řadového rodinného domu a bytového domu 0,3. “*

Tento odstavec nám udává podmínky, za kterých není potřeba mít na pozemku opatření HDV nebo dešťovou vodu odvádět do kanalizace. To je však v rozporu s předchozím odstavcem.

### **3.5.3 Zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)**

Zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích popisuje způsoby odvádění srážkové vody, když není možné jejich zasakování, ani samostatný odvod do recipientu a je nutné odvádění jednotnou kanalizací. V § 2 v odstavci 2 „*Kanalizace je provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující kanalizační stoky k odvádění odpadních vod a srážkových vod společně nebo odpadních vod samostatně a srážkových vod samostatně, kanalizační objekty, čistírny odpadních vod, jakož i stavby k čištění odpadních vod před jejich vypouštěním do kanalizace. Odvádí-li se odpadní voda a srážková voda společně, jedná se o jednotnou kanalizaci a srážkové vody se vtokem do této kanalizace přímo, nebo přípojkou stávají odpadními vodami. Odvádí-li se odpadní voda samostatně a srážková voda také samostatně, jedná se o oddílnou kanalizaci. Kanalizace je vodním dílem.*“

Dále tento zákon uvádí způsoby výpočtu množství odváděné srážkové vody do jednotné kanalizace a její následné zpoplatnění (stočné). V § 20 odstavci 6 jsou popsány výjimky, které nemají povinnost platit za odvádění srážkových vod



do kanalizace. „*Povinnost platit za odvádění srážkových vod do kanalizace pro veřejnou potřebu se nevztahuje na plochy dálnic, silnic, místních komunikací a účelových komunikací veřejně přístupných, plochy drah celostátních a regionálních včetně pevných zařízení potřebných pro přímé zajištění bezpečnosti a plynulosti drážní dopravy s výjimkou staveb, pozemků nebo jejich částí využívaných pro služby, které nesouvisí s činností provozovatele dráhy nebo drážního dopravce, zoologické zahrady, veřejná a neveřejná pohřebiště a plochy nemovitostí určených k trvalému bydlení a na domácnosti.*“

### 3.5.4 Motivace

V České republice se začíná měnit pohled na odvodňování urbanizovaných ploch. Proti zemím jako je např.: Německo nebo USA jsme s využíváním HDV teprve na začátku a stále u nás převládá konvenční centrální způsob odvádění. V současnosti u nás nejsou vytvořeny legislativní, technické, ekonomické ani společenské předpoklady, které by jednoznačně vytvářely vhodné podmínky a zájem o hospodaření s dešťovou vodou. Důležitá je samozřejmě osvěta a školení v rámci státu a celé společnosti. To však chce svůj čas.

### Zpoplatnění

V předchozí kapitole 3.5.3 jsou uvedeny výjimky, které nemají zpoplatněné odvádění srážkové vody do kanalizace. Tyto výjimky tvoří nezanedbatelnou část zpevněných ploch v urbanizovaném území, a to především komunikace a objekty určené k trvalému bydlení. Pro ekonomickou výhodnost HDV by bylo vhodné zpoplatnit odvádění srážkových vod ze všech pozemků a nemovitostí bez výjimek.

### Dešťovka

V rámci národního programu Životní prostředí byla v roce 2017 vypsáno již II. kolo dotačního programu „Dešťovka“. Program Dešťovka je podporován Ministerstvem životního prostředí a Státním fondem životního prostředí ČR. Obecně tento program přispívá na udržitelné využití a hospodaření s dešťovou vodou, tím se snaží motivovat vlastníky domů, aby šetřily s pitnou vodou. Program je určen pro majitele či stavebníky rodinných a bytových domů na podporu udržitelného využití srážkových vod v domácnosti i na zahradě.





Z této dotace mohou zájemci pokrýt až 50 % výdajů, když si pořídí některý z následujících typů opatření:

- nádrž na srážkovou vodu pro zalévání zahrady,
- nádrž na vodu na zalévání zahrady a využití v domácnosti,
- systém na recyklaci odpadní vody z domácnosti (Dešťovka, 2019).

Podání žádosti o dotaci probíhá elektronicky přes webové stránky <http://www.dotacedestovka.cz> ve 3 krocích: registrace do programu, vyplnění elektronické žádosti a doručení žádosti v papírové podobě na příslušný krajský úřad.

Tzv. „velká Dešťovka“ je určena pro veřejný sektor a o dotaci mohou žádat kraje, obce, města, nemocnice, školy a školní zařízení, úřady, příspěvkové a neziskové organizace. V tomto dotačním systému jsou podporovány udržitelné systémy hospodaření s dešťovou vodou ve veřejných prostorech. Jedná se o zelené vegetační střechy, vsakovací zařízení u parkovišť, jímky a nádrže na dešťovou vodu, suché poldry a nahrazování nepropustných povrchů za propustné atd. Žadatel může pokrýt z dotace až 85 % vynaložených nákladů na projekt. Veškeré informace a dokumenty k programu jsou k dispozici na webových stránkách [www.opzp.cz](http://www.opzp.cz) (ČTK, 2019) (ENVI-PUR, 2019).

## 4 METODIKA

### 4.1 POSTUP A PŘEDPOKLADY ŘEŠENÍ

Postup se skládá z následujících dílčích kroků:

- popis variant zástavby, které byly použity pro jednotlivé návrhy,
- návrh akumulačního objemu, ve variantě pro 21 - denní zásobu,
- návrh časového rozložení odběru vody z akumulační nádrže,
- ověření funkce akumulační nádrže matematickým modelem,
- návrh retenčního objektu s regulovaným odtokem,
- analýza a ekonomické zhodnocení, orientační výpočet nákladů a vyhodnocení doby návratnosti.

### 4.2 NÁVRH VARIANT PRO POSOUZENÍ SYSTÉMU

Jako modelový objekt pro posouzení návrhu jsem si zvolila typický rodinný dům. Jedná se o zděný patrový dům se sedlovou střechou o ploše  $120 \text{ m}^2$  a obýván 3 - člennou rodinou. K domu patří zatravněný pozemek o rozloze  $500 \text{ m}^2$ . Pro všechny účely se v současnosti v domácnosti využívá pitná voda z veřejného vodovodu, za tyto služby je vybírán poplatek provozovatel vodovodů v dané lokalitě. Modelový objekt je umístěn v Královohradeckém kraji.

#### 4.2.1 Varianta 1

V první variantě je uvažován typický případ, kde máme rodinný dům s velkou zavlažovanou plochou  $A_1 = 500 \text{ m}^2$ . Dále se počítá s využitím vody v domácnosti na splachování WC. Roční odběr vody z akumulační nádrže výrazně převyšuje přítok dešťové vody do nádrže.

#### 4.2.2 Varianta 2

V druhé variantě je uvažován rodinný dům s malou zavlažovanou plochou  $A_2 = 75 \text{ m}^2$ , dále se dešťová voda využívá v domácnosti na splachování WC. Tato varianta byla zvolena tak, aby docházelo k co nejčastějšímu překročení návrhového objemu a přepadům vody z akumulační nádrže. Je to nejméně příznivý případ. Roční odběr vody z akumulační nádrže se rovná přítoku dešťové vody do nádrže.

Vzhledem k možnosti posouzení návrhů pro výše uvedené jednotlivé varianty je třeba zodpovědět na následující otázky:

- Při návrhu akumulární nádrže na standartní dobu zásoby 21 dní, jak velký retenční objem musí mít následné opatření?
- Na kolikadenní zásobu vody musí být akumulární nádrž navržena, aby splnila bezpečnost na 5 – letý déšť?
- Který z níže uvedených návrhů je z ekonomického hlediska nejvýhodnější?
  - a) návrh akumulární nádrže, tak aby splňovala bezpečnost na 5 – letý déšť,
  - b) návrh akumulární nádrže na standartní dobu zásoby 21 dní a dodatečná retence s regulací odtoku,
  - c) návrh retenčního objektu s regulovaným objektem (bez akumulární nádrže).

## 4.3 NÁVRH AKUMULAČNÍHO OBJEMU

Pro určení akumulárního objemu musíme nejprve vypočítat objem přítoku a objem potřebný pro závlahu a využití v domácnosti. Výsledný akumulární objem je potom menší z těchto dvou. Rezerva R představuje maximální dobu, po kterou je voda v akumulární nádrži uchována, standardně se navrhuje na 21 - denní zásobu. Výsledný objem vypočítáme z rovnice (Stránský, 2017):

$$V_{akumul(21)} = \frac{\min(V_{přítok}; V_{spotřeba})}{365} \cdot R [m^3] \quad (1)$$

kde:

$V_{akumul(21)}$  dlouhodobý srážkový normál [mm]

$V_{přítok}$  sběrná plocha [m<sup>2</sup>]

$V_{spotřeba}$  součinitel odtoku srážkových povrchových vod dle tab. 3 [-]

### 4.3.1 Objem přítoku

Pro výpočet objemu přítoku je zapotřebí roční srážkový úhrn pro lokalitu, kde je srážková voda akumulována. Pro výpočet byl zvolen dlouhodobý srážkový normál 1981 - 2010 pro Královohradecký kraj, který je volně dostupný na stránkách ČHMÚ

(Tabulka 2). Sběrná plocha  $A$  je využitelná plocha střechy, která se vypočítá jako součin půdorysných rozměrů střechy. Součinitel odtoku srážkových povrchových vod nám zohledňuje typ povrchu střechy a její sklon (Tabulka 3). Kvůli osazení filtru na přívodním potrubí je nutno do výpočtu zahrnout účinnost filtrace, tu nám většinou uvádí výrobce a zpravidla se pohybuje okolo 10 %. Ve výpočtu nám zohledňuje vzniklé ztráty na filtru. Výpočet dle DIN 1989-1 (DIN 1989-1:2001-10, 2001):

$$V_{\text{přítok}} = \frac{h}{1000} \cdot A \cdot \psi \cdot \eta \text{ [m}^3\text{/rok]} \quad (2)$$

kde:

- $h$  dlouhodobý srážkový normál [mm]  
 $A$  sběrná plocha [m<sup>2</sup>]  
 $\psi$  součinitel odtoku srážkových povrchových vod dle tab. 3 [-]  
 $\eta$  součinitel ztráty ve filtru (účinnost filtrace) [-]

Tabulka 2: Dlouhodobý srážkový normál 1981-2010 v Královohradeckém kraji (Portál ČHMÚ, 2019)

Měsíc	Srážkový úhrn [mm]
Leden	61
Únor	48
Březen	57
Duben	43
Květen	66
Červen	73
Červenec	92
Srpen	83
Září	62
Říjen	49
Listopad	58
Prosinec	66
<b>Celkem</b>	<b>760</b>

Tabulka 3: Součinitele odtoku srážkových povrchových vod dle ČSN 75 9010

Druh odvodňované plochy, druh úpravy povrchu	Sklon povrchu		
	do 1 %	1 % až 5 %	Nad 5 %
	Součinitele odtoku srážkových povrchových vod $\psi$		
Střechy s propustnou horní vrstvou (vegetační střechy)	0,4 až 0,7 <sup>1)</sup>	0,4 až 0,7 <sup>1)</sup>	0,5 až 0,7 <sup>1)</sup>
Střechy s vrstvou kačírku na nepropustné vrstvě	0,7 až 0,9 <sup>1)</sup>	0,7 až 0,9 <sup>1)</sup>	0,8 až 0,9 <sup>1)</sup>
Střechy s nepropustnou horní vrstvou	1,0	1,0	1,0
Střechy s nepropustnou horní vrstvou o ploše větší než 10 000 m <sup>2</sup>	0,9	0,9	0,9
Zatrávněné plochy	0,05	0,1	0,15
<sup>1)</sup> Podle tloušťky propustné horní vrstvy (s rostoucí tloušťkou propustné horní vrstvy se součinitel odtoku srážkových povrchových vod snižuje až na uvedenou dolní mezní hodnotu).			

#### 4.3.2 Objem potřebný pro závlahu a využití v domácnosti

Výpočet roční spotřeby vody se odvíjí od způsobu jejího využití (závlaha, splachování WC, praní, užitková voda atd.).

Potřeba srážkové vody pro závlahu trávníku se předpokládá pouze ve vegetačním období, které je od dubna do září. V České republice roční úhrn zajistí 1/3 až 1/2 potřebné závlahy pro trávník. Většina trávníků potřebuje během vegetačního období 25–40 l/m<sup>2</sup> za týden. U zavlažování je velmi důležitá rovnoměrnost a pravidelnost, ideálně se zavlažuje ve 2-3 cyklech týdně (Šenkýř, 2005). Potřebný objem pro závlahu je vypočten podle vzorce (Stránský, 2017):

$$V_{závlaha} = A_i \cdot P \cdot n \text{ [m}^3\text{]} \quad (3)$$

kde:

- $A_i$       zavlažovaná plocha [m<sup>2</sup>]  
 $P$         potřeba vody pro závlahu [l/m<sup>2</sup>/týden]  
 $n$         počet týdnů, kdy je trávník zavlažován [týden]

Dále vypočítáme roční spotřebu vody na splachování WC. Člověk v domácnosti průměrně spotřebuje 24 l/den vody na splachování WC (DIN 1989-1:2001-10, 2001).

$$V_{WC} = \frac{P}{1000} \cdot T \cdot n \text{ [m}^3\text{]} \quad (4)$$

kde:

$P$  specifická denní potřeba vody ke splachování WC [l/den]

$T$  počet dnů, kdy je voda využívána ke splachování WC [den]

$n$  počet osob v domácnosti [osob]

Celková spotřeba akumulované vody se poté vypočítá jako jejich součet:

$$V_{spotřeba} = V_{závlaha} + V_{WC} \text{ [m}^3\text{]} \quad (5)$$

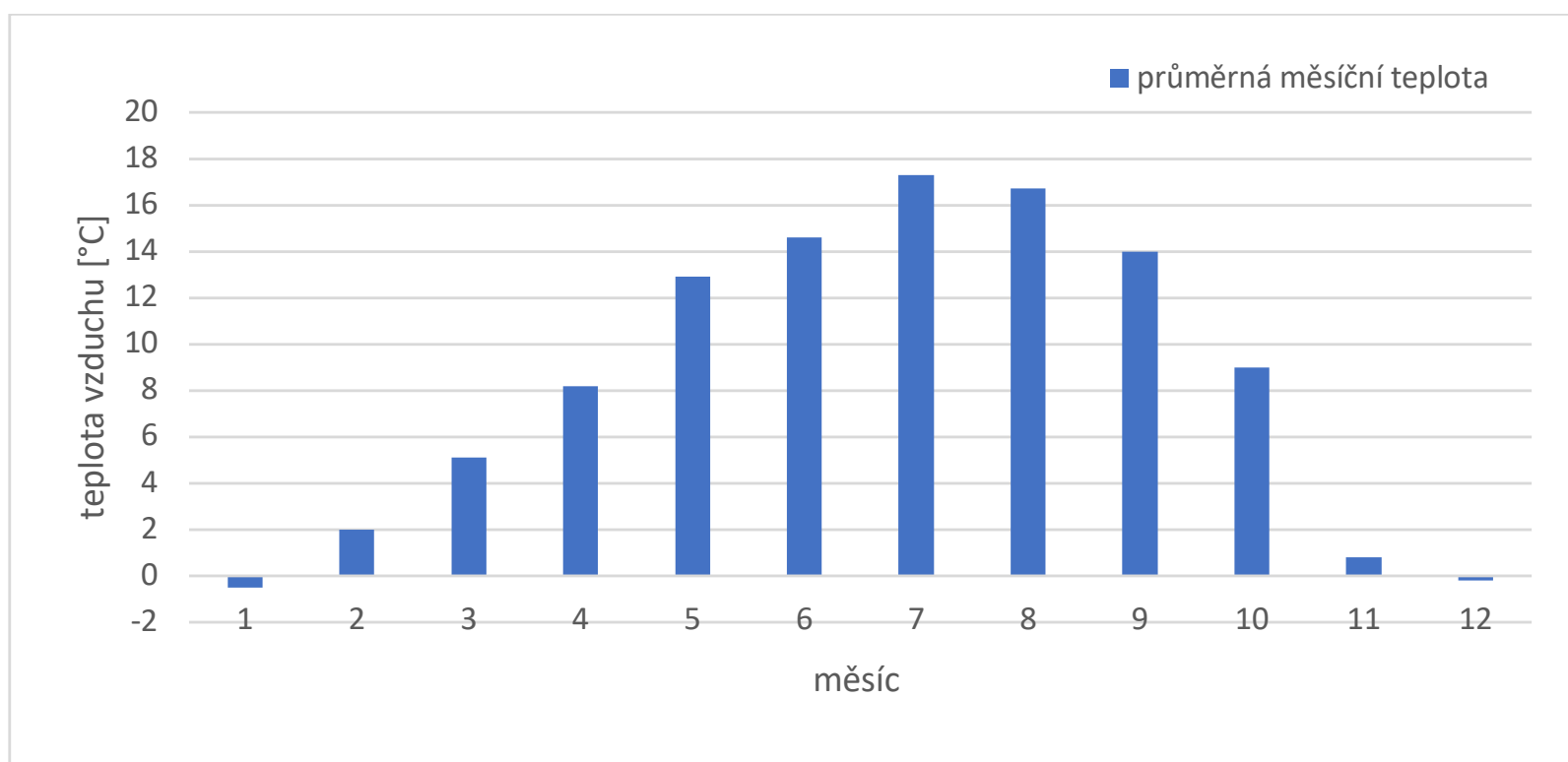
## 4.4 NÁVRH ČASOVÉHO ROZLOŽENÍ ODBĚRU

V daných variantách byl předpokládán typický rodinný dům, obývaný 3 - člennou rodinou. Využití dešťové vody v domácnosti bylo uvažováno pouze na splachování WC. To se rozložilo během dne následovně: v ranních hodinách spláchně každý člen domácnosti právě jednou. Poté v odpoledních hodinách mezi 17 h a 19 h uvažujeme se dvěma spláchnutími za hodinu a v čase mezi 19 h a 22 h s průměrně jedním spláchnutím za hodinu. Rozdělení bylo navrženo tak, aby celková specifická potřeba vody ke splachování WC vycházela 24 l/osoba/den, na jedno spláchnutí WC je využito 6 l vody.

Potřeba vody pro závlahu pozemku je rozdělena následovně. Trávník bude zavlažován během vegetačního období, které je v České republice od května do října. Dále se vegetační období rozdělilo do 3 skupin, dle dlouhodobého normálu průměrných měsíčních teplot vzduchu (Obrázek 13) a k jednotlivým skupinám byly přiřazeny specifické hodnoty potřeby vody pro závlahu trávníku (viz. Tabulka 4). Závlaha je rozdělena do 3 cyklů týdně (pondělí, středa a pátek) a zavlažuje se vždy v 5 h ráno. Když prší, zahrada se nezavlažuje.

Tabulka 4: Specifická potřeba vody pro závlahu trávníku

měsíc	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
<b>Specifická potřeba vody pro závlahu [l/m<sup>2</sup>/týden]</b>	25	35	40	40	35	25



Obrázek 13: Dlouhodobý normál teploty vzduchu 1981-2010 v Královohradeckém kraji (Portál ČHMÚ, 2019)

## 4.5 MATEMATICKÝ MODEL PLNĚNÍ A PRÁZDNĚNÍ AKUMULAČNÍ NÁDRŽE

Pomocí simulačního programu SWMM (Storm Water Management Model) byly získány hodnoty srážkového úhrnu v mm/h a odtoku ze střechy v mm v hodinovém kroku. Pro simulaci a výpočet byla zadána 10 - letá dešťová řada z Králova Hradce. Dešťová řada začíná 1.1.1999 a končí 31.12.2008, celkem má 3 652 dní. V dešťové řadě se nacházejí 2 přestupné roky.

Nejdříve byl odtok ze střechy převeden na přítok do akumulární nádrže z mm/h na m<sup>3</sup>. Dále byl určen celkový odběr v jednotlivých hodinách, který je součtem vody odebírané na splachování WC a závlahu, které již máme nadefinované podle časového rozložení odběru (viz. kapitola 4.4). Výpočet objemu vody v nádrži v jednotlivých hodinách se rovná:

$$V_n^t = V_n^{t-1} + (V_{přítok}^t - O_{celkem}^t) [m^3] \quad (6)$$

kde:

$V_n^{t-1}$       objem vody v nádrži v čase t-1 [ $m^3$ ]

$V_n^{t-1}$       objem přítoku akumulovaného v nádrži

$O_{celkem}^t$     celkový odběr vody z nádrže

Pokud je  $V_n$  menší jak 0 v nádrži není akumulována žádná voda. Pokud je  $0 < V_n < V_{akumul}$  tak se objem vody v nádrži vypočte podle rovnice 6. A pokud je  $V_n$  větší jak 0 a zároveň větší, než  $V_{akumul}$  znamená to, že nádrž je plná  $V_n = V_{akumul}$ . Přebytková voda z nádrže přetéká pryč a v dalším kroku vypočteme její množství podle vzorce:

$$P^t = V_n^{t-1} + (V_{přítok}^t - O_{celkem}^t) - V_{akumul}^t \quad [m^3] \quad (7)$$

kde:

$P^t$             přepad vody z akumulační nádrže v jednotlivých hodinách [ $m^3$ ]

$V_n^{t-1}$       objem vody v nádrži v čase t-1 [ $m^3$ ]

$V_{přítok}^t$     objem přítoku akumulovaného v nádrži v čase t [ $m^3$ ]

$O_{celkem}^t$     celkový odběr vody z nádrže v čase t [ $m^3$ ]

$V_{akumul}^t$     akumulační objem v čase t [ $m^3$ ]

Celkové množství přepadlé vody za deště se dopočítá jako suma přepadů v jednotlivých hodinách. Pokud není hodinu evidován žádný srážkový úhrn, tudíž ani odtok ze sběrné plochy, sčítání se přeruší a je zaznamenán celkový přepad během deště.

Pokud je objem vody v nádrži ( $V_n$ ) nulový a zároveň je potřeba zajistit odběr ( $O_{celkem}$ ) je nutno objem vody pro potřebu v domácnosti a pro závlahu doplnit pitnou vodou, její objem se dopočítá jako rozdíl celkové potřeby vody v hodině a celkového odběru:

$$V_{PV}^t = V_{akumul}^t - O_{celkem}^t \quad [m^3] \quad (8)$$

kde:

$V_{PV}^t$             objem doplněné pitné vody v čase t [ $m^3$ ]



$V_{akumul}^t$       objem akumulované vody v čase  $t$  [ $m^3$ ] $O_{celkem}^t$       celkový odběr vody z nádrže v čase  $t$  [ $m^3$ ]

## 4.6 NÁVRH RETENCE S REGULOVANÝM ODTOKEM

### Retenční objekt s regulovaným odtokem v sériovém řazení za akumulací nádrží

Když při návrhu akumulací nádrže na standardní 21 - denní zásobu nebude dodržena bezpečnost na 5 – letý déšť, bude za nádrž zařazen retenční objekt s regulací odtoku. Retenční objekt zadržuje přebytečnou vodu, která přepadne z nádrže a zpomaluje její odtok do recipientu nebo kanalizace. Retenční objem je navržen na rozdíl akumulacího objemu pro  $R = 21$  dní a akumulacího objemu, který vychází pro danou bezpečnost.

$$V_{retence} = V_{akumul} - V_{akumul(21)} [m^3] \quad (9)$$

kde:

 $V_{retence}$       retenční objem [ $m^3$ ] $V_{akumul}$       návrhový objem akumulované vody [ $m^3$ ] $V_{akumul(21)}$       objem akumulované vody pro  $R$  [ $m^3$ ]

#### 4.6.1 Samostatný retenční objekt s regulovaným odtokem

Retenční objem byl navržen pomocí hydrologické bilance přítoku a odtoku do retenčního objektu dle TNV 75 9011. Celkový přítok do retenčního objektu se musí rovnat celkovému odtoku z objektu (TNV 75 9011, 2013).

$$V_{přítok} = V_{retence} + V_{odtok} [m^3] \quad (10)$$

kde:

 $V_{přítok}$       objem přivedené srážkové vody [ $m^3$ ] $V_{odtok}$       regulovaný odtok [ $m^3$ ] $V_{retence}$       retenční objem [ $m^3$ ]

Potřebné jednotlivé objemy z hydrologické bilance vypočítáme následovně podle vztahů 11 až 13:

$$V_{přítok} = i \cdot (A_{red} + A_{vsak}) \cdot \frac{t}{1000} [m^3] \quad (11)$$

kde:

- $i$  intenzita srážky – tabulka 5 [l/s/ha]  
 $A_{red}$  průmět redukované odvodňované plochy [m<sup>2</sup>]  
 $A_{vsak}$  vsakovací plocha vsakovacího zařízení [m<sup>2</sup>]  
 $t$  doba trvání srážky [h]

Tabulka 5: Návrhové úhrny srážek Královohradecký kraj s dobou trvání 10 min až 1440 min (24 hod)

Periodicita $p$ (rok <sup>-1</sup> )	Doba trvání srážek $t_c$ [min]														
	10	15	20	30	40	60	120	240	360	480	600	720	960	1200	1440
	Intenzita srážek [l/s/ha]														
0,2	337	255	201	141	110	77,3	42,0	23,8	17,0	13,2	11,0	9,3	7,1	5,9	4,9

$$V_{retence} = A_{vsak} \cdot H [m^3] \quad (12)$$

kde:

- $H$  střední hloubka vody [m]  
 $A_{vsak}$  vsakovací plocha vsakovacího zařízení [m<sup>2</sup>]

$$V_{odtok} = 3\,600 \cdot Q_o \cdot t [m^3] \quad (13)$$

kde:

$Q_o$  regulovaný odtok z retenčního prostoru do povrchových vod nebo do jednotné kanalizace [m<sup>3</sup>/s], musí být dodrženo  $Q_o \leq Q_c$  ( $Q_c$  je přípustný odtok podle TNV 75 9011 kapitola 5.2)

- $t$  doba trvání srážky [h]

Redukovanou odvodňovanou plochu potřebnou pro výpočet objemu přítoku vypočítáme ze vztahu (ČSN 75 9010, 2012):

$$A_{red} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \psi_i [m^2] \quad (14)$$

kde:

$A_i$  půdorysný průmět odvodňované plochy určitého druhu [ $m^2$ ]

$\psi_i$  součinitel odtoku srážkových povrchových vod [-], dle druhu plochy podle tabulky 3

$n$  počet odvodňovaných ploch určitého druhu

Výpočet retenčního objemu byl proveden pro všechny návrhové úhrny s dobou trvání od 10 min do 24 h, které byly získané z návrhové 10 - leté dešťové řady z Hradce Králové. Za návrhový retenční objem považujeme maximální vypočtený objem vsakovacího zařízení získaný ze vztahu 10. Návrhová periodičita srážek byla zvolena podle tabulky 5.

Tabulka 6: Návrhová periodičita srážek pro dimenzování vsakovacích zařízení (ČSN 75 9010, 2012)

Riziko při přeplnění vsakovacího zařízení	Návrhová periodičita srážek p (rok <sup>-1</sup> )
Při přetečení vsakovacího zařízení je možný odtok srážkové vody ze vsakovacího zařízení po povrchu terénu nebo přepadovým potrubím mimo budovy nebo podzemní dopravní zařízení. Při zpětném vzduť v dešťové kanalizaci, která je zaústěna do vsakovacího zařízení, je možný odtok srážkové vody z dešťové kanalizace po povrchu terénu mimo budovy nebo podzemní dopravní zařízení. Prostory odvodněné do dešťové kanalizace nacházející se pod hladinou zpětného vzduť jsou proti vniknutí vzduť vody z dešťové kanalizace chráněny technickým opatřením podle ČSN EN 12056-4 a ČSN 75 6760.	0,2
Pokud není splněna některá z podmínek uvedených v předcházejícím řádku této tabulky, např. u vsakovacích zařízení, která slouží pouze pro odvodnění podzemních dopravních zařízení a/nebo vstupů do budov nacházejících se pod úrovní okolního terénu, a odvodňované prostory pod úrovní terénu nemohou být před vodou přetékající ze vsakovacího zařízení chráněny.	0,1
V případech, kdy je zpracován generel odvodnění nebo generel kanalizace zájmového území a obsahuje návrhovou periodicitu srážek.	Hodnota podle generelu
V souladu s hydraulickou spolehlivostí vybudované protipovodňové ochrany.	Individuálně stanovená hodnota
POZNÁMKA Zpětné vzduť v dešťové kanalizaci zaústěné do vsakovacího zařízení vznikne při naplnění vsakovacího zařízení na větší objem, než je vypočtený retenční objem. Hladinou zpětného vzduť je úroveň terénu v místě, kde může srážková voda ze vsakovacího zařízení a/nebo připojené dešťové kanalizace přetékat (úroveň poklopu s otvory, mříže na šachtě apod.).	

Na závěr bylo potřeba určit dobu prázdnění vsakovacího zařízení, ta byla stanovena podle vztahu 12 (ČSN 75 9010, 2012):

$$T_{pr} = \frac{V_{vz}}{Q_{vsak}} [s] \quad (15)$$

kde:

$V_{vz}$       návrhový retenční objem [ $m^3$ ]

$Q_{vsak}$       vsakovaný odtok [ $m^3 \cdot s^{-1}$ ]

Maximální doba prázdnění vsakovacího zařízení by neměla být více než 72 h (ČSN 75 9010, 2012), ideální doba je do 8 h.

## 4.7 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole se určí orientační investiční náklady jednotlivých variant, provozní náklady a předpokládaná úspora. Hodnocení bylo provedeno podle různých podkladů, zejména podle cenové příručky ÚÚR (Šimková, 2017) a diplomové práce (Vrkoč, 2013).

Kalkulace byly prováděny pro následující návrhy:

- návrh akumulční nádrže s bezpečností na 5 – letý déšť,
- návrh akumulční nádrže s 21 - denní rezervou se sériově zařazeným retenčním objektem s regulovaným odtokem,
- návrh samostatného retenčního objektu s regulovaným odtokem.

### 4.7.1 Investiční náklady

Investiční náklady shrnují veškeré náklady, které jsou potřebné k pořízení nového systému na využívání dešťových vod. Z celkových nákladů zpravidla zaujímají významnou část a jsou do stavby investovány na začátku.

Investiční náklady zahrnují pořízení a instalaci akumulční nádrže, filtru a čerpadla, cenu zemních prací a venkovního potrubí.

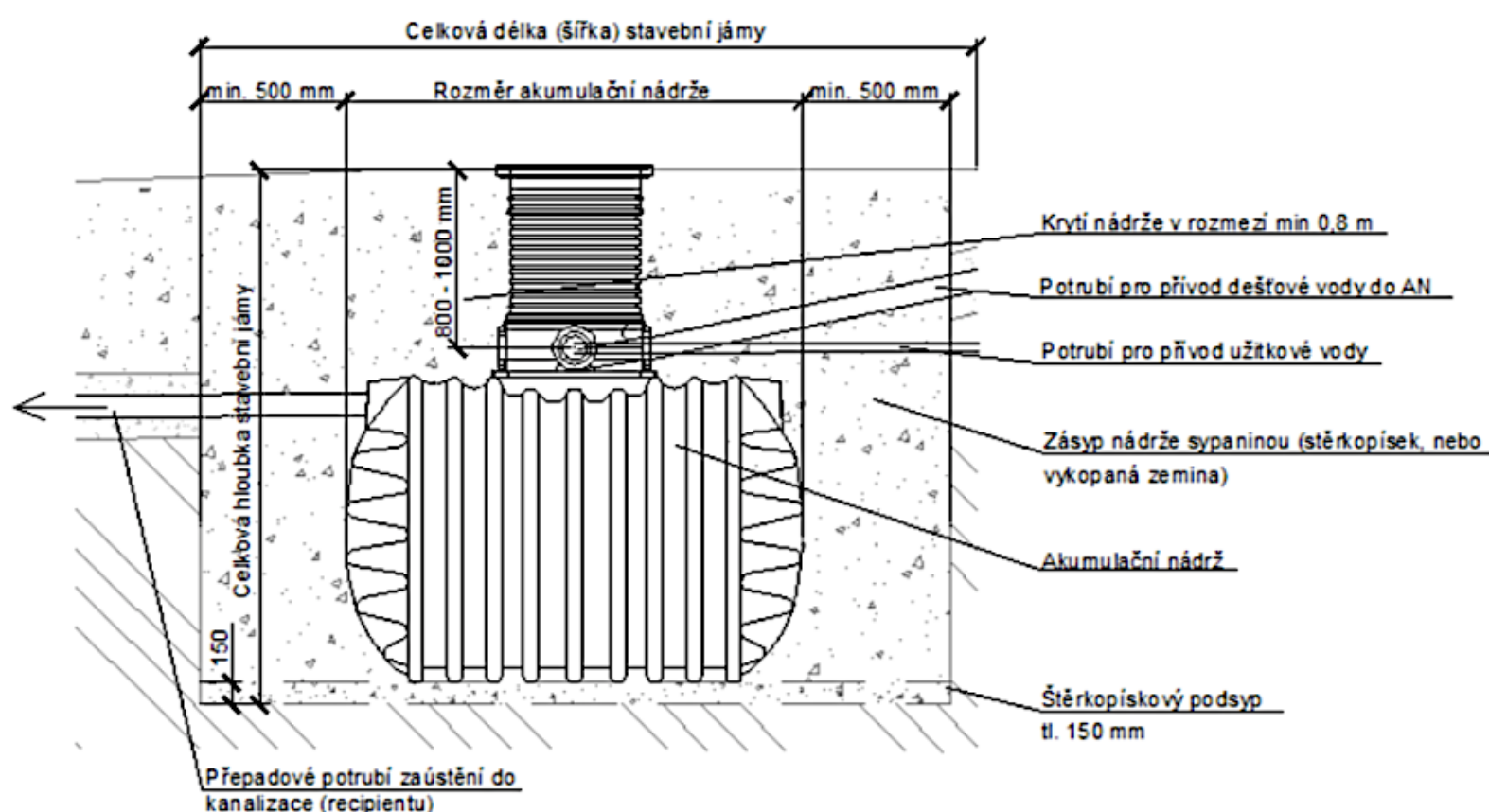
## 4.7.2 Náklady na pořízení a instalaci akumulční nádrže

Dle příručky (Šimková, 2017) je uvažován podzemní objekt ze železobetonu. V ceně jsou zahrnuty veškeré zemní práce, izolace, čerpací jímky a provozní nadzemní část objektu. Náklad na 1 m<sup>3</sup> objemu nádrže se pohybuje od 17 000 Kč do 27 000 Kč (Šimková, 2017).

Nabídka akumulčních nádrží na trhu je opravdu široká a bylo těžké určit průměrnou cenu. V tabulce 7 jsou uvedeny jednotkové ceny na 1 m<sup>3</sup> akumulčního objemu, v ceně je zahrnuto vybavení a vystrojení. Z důvodu nejjednodušší instalace a ekonomické výhodnosti byla zvolena plastová nádrž. Pro její uložení je potřebný štěrkopískový podsyp frakcí 8/16 (tloušťka 150 mm), jednotková cena je 800 Kč/m<sup>3</sup> a k obsypu se předpokládá použití vykopané zeminy. Na obrázku 14 je znázorněn potřebný rozsah zemních prací k instalaci akumulční nádrže. Jednotková práce zemních prací je 363,00 Kč za 1 m<sup>3</sup> (Šimková, 2017).

Tabulka 7: Jednotkové náklady na akumulční objem (Vrkoč, 2013)

Objem [m <sup>3</sup> ]	1	2	4	6	8	10
Min [tis. Kč/ m <sup>3</sup> ]	8,63	13,49	23,22	32,95	42,67	52,40
Max [tis. Kč/ m <sup>3</sup> ]	12,33	20,77	37,65	54,53	71,41	88,28



Obrázek 14: Vzorový příčný řez uložení akumulční nádrže (Vrkoč, 2013)

### 4.7.3 Náklady na potrubí

U rodinného domu je uvažováno s přívodním potrubím na dešťovou vodu DN 100 mm do akumulční nádrže s předpokládanou délkou 10 m. Dále je potřeba potrubí, které přivádí dešťovou vodu do domu, to je uvažováno v délce 12 m a bylo použito potrubí PE SN16 DN 50 x 8,6 mm (Vrkoč, 2013). Součástí zhodnocení nejsou náklady spojené s rozvodem vody v budově.

Tabulka 8: Přehled nákladů trubního vedení (Vrkoč, 2013)

Rodinný dům		
Přívodní potrubí (dešťová voda)	Jednotková cena	484,83
	Délka [m]	10
	Cena [Kč]	4 848,30
Přívodní potrubí do domácnosti	Jednotková cena	304,18
	Délka [m]	12
	Cena [Kč]	3 650,16
Celkové náklady	Celková cena [Kč]	8 498,46

### 4.7.4 Náklady na retenční objekt s regulovaným odtokem

V zhodnocení retenčního objektu s regulovaným odtokem je počítáno s následujícími položkami:

- Zemní práce a úpravy povrchu
- Geotextílie
- Štěrkopísek
- Ohumusování

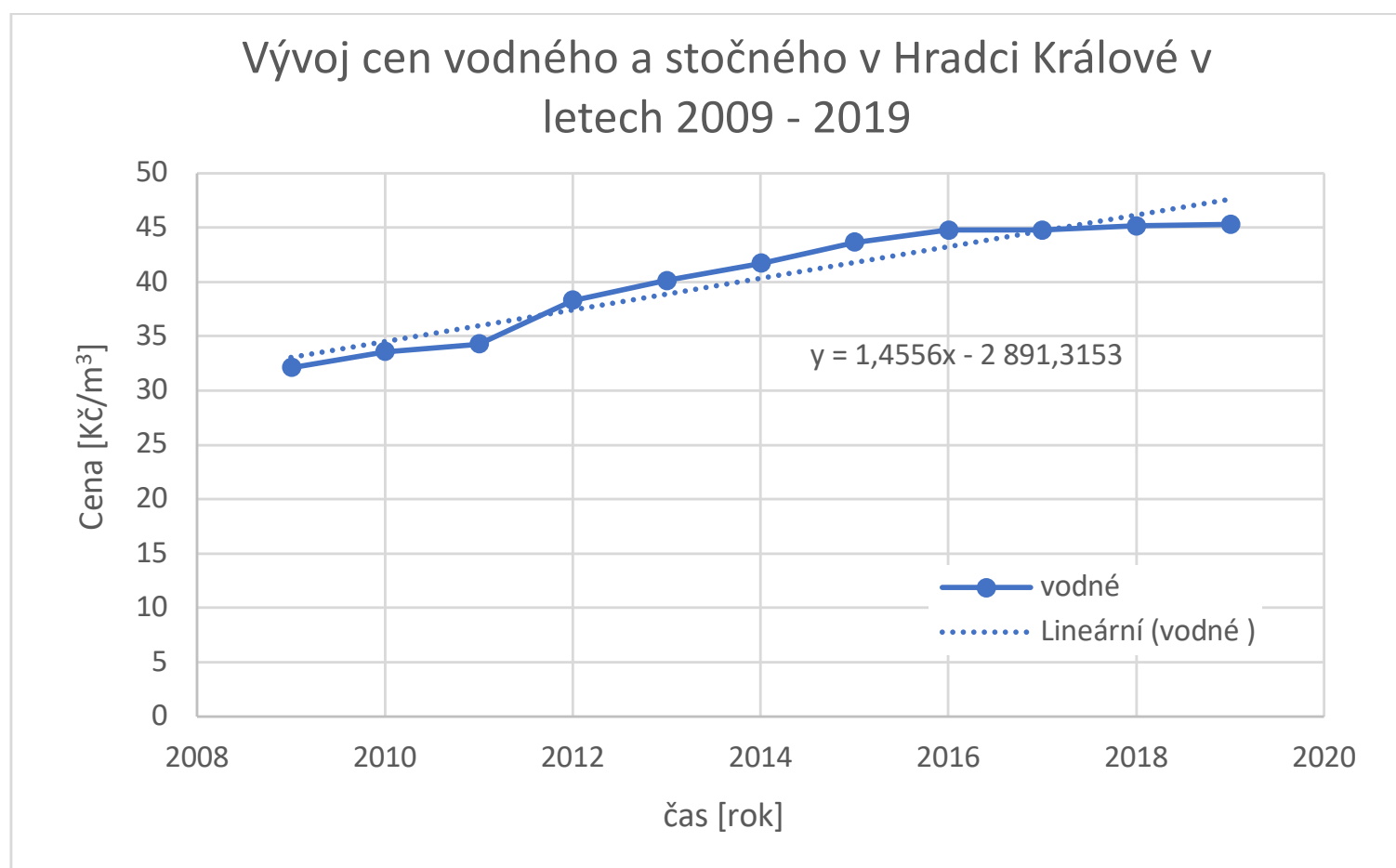
Celkové investiční náklady na retenční zařízení u rodinného domu při  $Q_s = 3 \text{ l/s/ha}$  jsou od 3 500 Kč do 4 500 Kč (podklad od vedoucího práce) na  $1 \text{ m}^3$  retenčního objemu.

### 4.7.5 Provozní náklady

Náklady na provoz akumulční nádrže činí 200 Kč až 350 Kč za  $1 \text{ m}^3$  objemu a u retenčního zařízení se provozní náklady pohybují od 200 Kč do 500 Kč na  $1 \text{ m}^3$  objemu. Životnost objektů se uvažuje 25 let.

#### 4.7.6 Úspora vodného a stočného

Úspora vodného je počítána z aktuální ceny v Hradci Králové pro rok 2019. Cena vodného je 45,30 Kč/1 m<sup>3</sup> (Veolia, 2019). Kromě aktuální ceny, počítáme také s vývojem ceny vodného do budoucna, ten určíme z trendu růstu cen za posledních 10 let v Hradci Králové. Po dosazení do rovnic bylo zjištěno, že průměrný meziroční nárůst cen je o 2,33%. Úspora je uvažována za objem dešťové vody využívané na splachování WC, který se vypočítá jako součin specifické spotřeby (24 l/os/den), počtu členů domácnosti a počtu dní v roce.



Obrázek 15: Vývoj cen vodného a stočného v Hradci Králové v letech 2009–2019



## 5 VÝSLEDKY ŘEŠENÍ

### 5.1 VARIANTA 1

Pro variantu 1 byl vypočtený potřebný akumulční objem podle kapitoly 4.3:

$$V_{přítok} = \frac{h}{1000} \cdot A \cdot \psi \cdot \eta = \frac{753,7}{1000} \cdot 120 \cdot 0,75 \cdot 0,9 = 61,00 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$V_{závlaha} = A \cdot P \cdot n = 500 \cdot (25 \cdot 4,5 + 30 \cdot 4,5 + 40 \cdot 4,5) = 225,00 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$V_{WC} = \frac{P}{1000} \cdot T \cdot n = \frac{24}{1000} \cdot 365 \cdot 3 = 26,28 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$V_{spotřeba} = V_{závlaha} + V_{WC} = 225,00 + 26,28 = 251,28 \text{ m}^3$$

$$V_{akumul(21)} = \frac{\min(V_{přítok}; V_{spotřeba})}{365} \cdot R = \frac{\min(61,00; 251,28)}{365} \cdot 21 = 3,51 \text{ m}^3$$

Pomocí matematického modelu bylo zjištěno, že voda z akumulční nádrže přepadne 5x za 10 let. V tabulce 8 vidíme jednotlivé přepady. Konečný návrhový objem byl určen dle 3. největšího přepadu  $V_{akumul} = 4,70 \text{ m}^3$ . V grafu 1 je znázorněno plnění a prázdnění nádrže během 10 let.

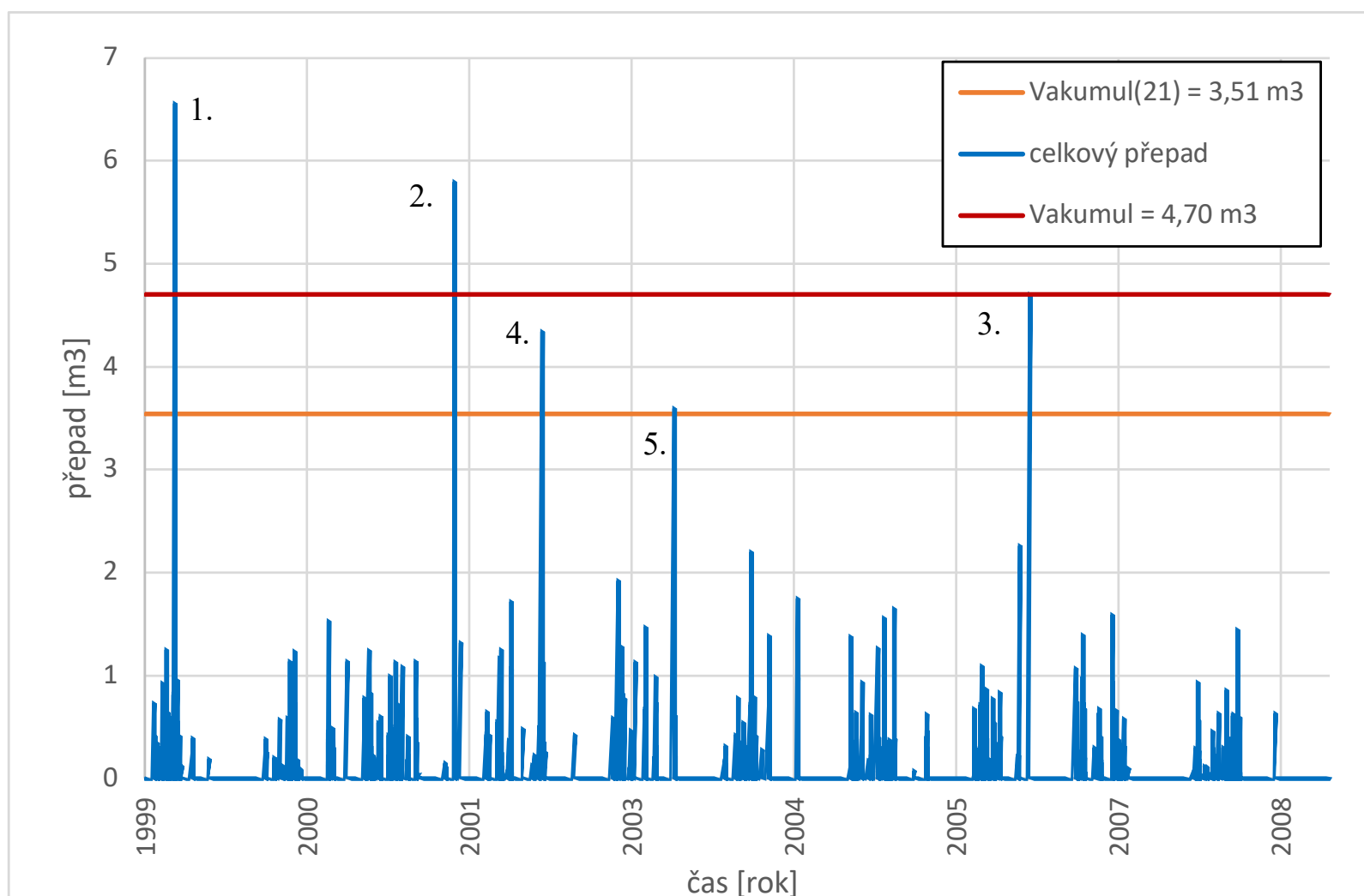
Dále byla pomocí matematického modelu určena rezerva, která by vyhovovala na bezpečnost 5 – letého deště. Pro 28 – denní zásobu vychází 2 přepady za 10 let a akumulční objem je  $V_{akumul(28)} = 4,72 \text{ m}^3$ .

Tabulka 9: Jednotlivé přepady za 10 let pro 21 – denní zásobu – varianta 1

	Datum	$V_{přepad} + V_{akumul(21)}$ [m <sup>3</sup> ]	Přepad z akumulční nádrže [m <sup>3</sup> ]
1.	05.04.1999	6,47	2,93
2.	14.08.2001	5,72	2,18
3.	21.06.2006	4,67	1,12
4.	11.05.2002	4,28	0,74
5.	23.06.2003	3,56	0,02

Potřebný objem pro sériově zařazený retenční objem je vypočten podle rovnice 9:

$$V_{retence} = V_{akumul} - V_{akumul(21)} = 4,70 - 3,51 = 1,19 \text{ m}^3$$



Obrázek 16: Plnění a prázdnění akumulční nádrže s rezervou  $R = 21$  dní

Pro ověření správnosti výpočtů a větší přehlednost jsou v tabulce 10 uvedené objemy odtoku ze střechy, odběrů, celkového přepadu a doplnění pitnou vodou za 10 let.

Tabulka 10: Výsledky ověření pro zásobu 21 a 28 dní

		Zásoba 21 dní	Zásoba 28 dní
Velikost akumulční nádrže [m <sup>3</sup> ]		3,51	4,72
Odtok ze střechy [m <sup>3</sup> /10 let]		672,04	672,04
Využilo se	Závlaha [m <sup>3</sup> /10 let]	4 110,00	4110,00
	Splachování WC [m <sup>3</sup> /10 let]	263,02	263,02
Přepad z akumulční nádrže		164,02	135,16
Doplnění pitnou vodou [m <sup>3</sup> /10 let]		3 865,01	3 836,14

## 5.2 VARIANTA 2

Ve výpočtu varianty 2 bylo postupováno stejně jako ve variantě 1. Nejprve byl vypočítán podle kapitoly 4.3.1 objem přítoku do akumulární nádrže a jednotlivé odběry vody podle vztahů v kapitole 4.3.2.

$$V_{\text{přítok}} = \frac{h}{1000} \cdot A \cdot \psi \cdot \eta = \frac{753,7}{1000} \cdot 120 \cdot 0,75 \cdot 0,9 = 61,00 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$V_{\text{závlaha}} = A \cdot P \cdot n = 75 \cdot (25 \cdot 4,5 + 30 \cdot 4,5 + 40 \cdot 4,5) = 33,75 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$V_{\text{WC}} = \frac{P}{1000} \cdot T \cdot n = \frac{24}{1000} \cdot 365 \cdot 3 = 26,28 \text{ m}^3/\text{rok}$$

$$V_{\text{spotřeba}} = V_{\text{závlaha}} + V_{\text{WC}} = 33,75 + 26,28 = 60,03 \text{ m}^3$$

V této variantě byl vypočítán akumulární objem pro  $R = 21$  dní podle kapitoly 4.3:

$$V_{\text{akumul}} = \frac{\min(V_{\text{přítok}}; V_{\text{spotřeba}})}{365} \cdot R = \frac{\min(61,00; 60,03)}{365} \cdot 21 = 3,45 \text{ m}^3$$

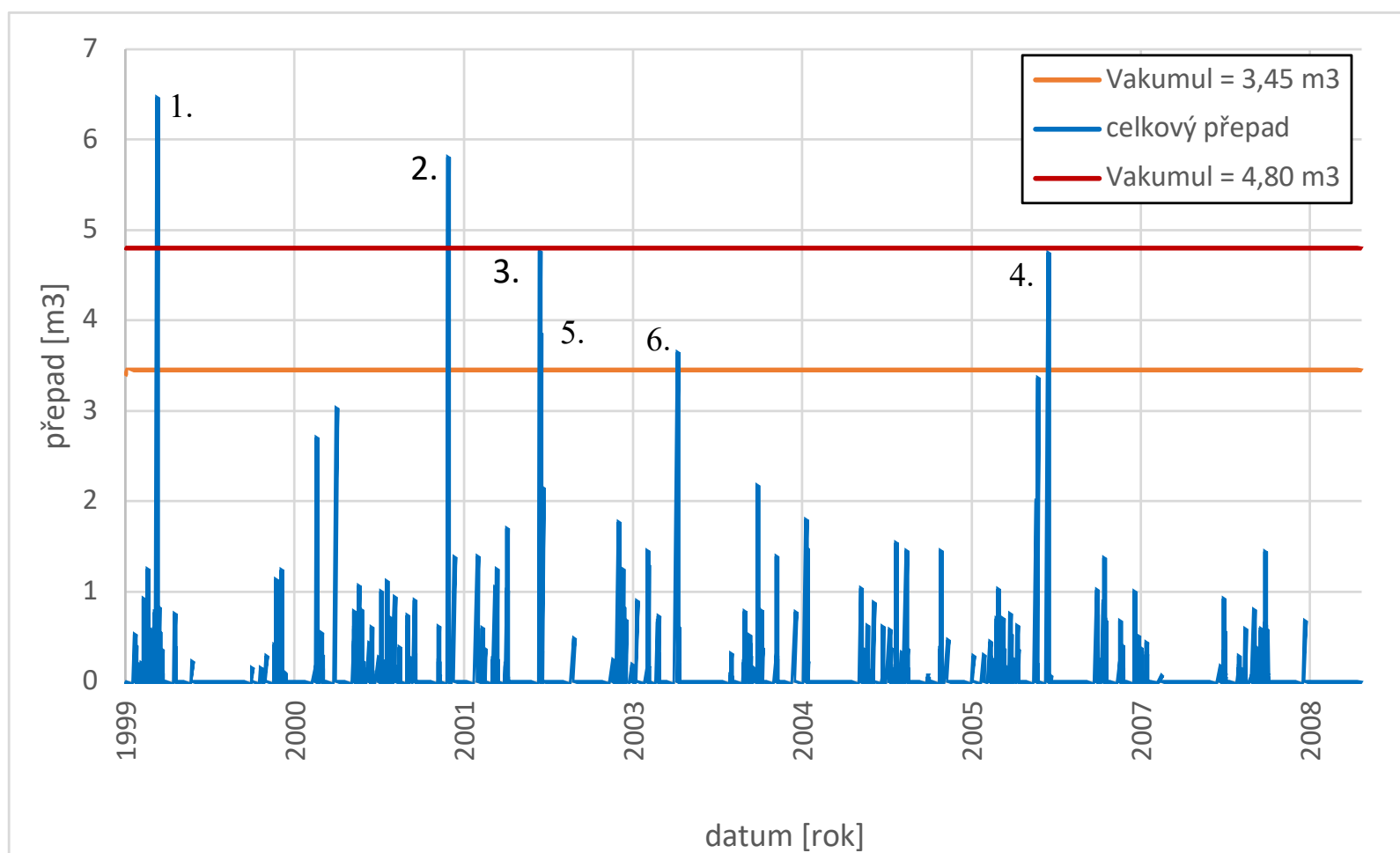
Během 10 let došlo k 6 přepadům vody z akumulární nádrže viz. Tabulka 11. Konečný návrhový objem byl určen dle 3. největšího přepadu  $V_{\text{akumul}} = 4,80 \text{ m}^3$ .

Tabulka 11: Jednotlivé přepady za 10 let pro 21 – denní zásobu – varianta 2

	Datum	$V_{\text{přepad}} + V_{\text{akumul}(21)}$ [m <sup>3</sup> ]	Přepad z akumulární nádrže [m <sup>3</sup> ]
1.	05.04.1999	6,47	2,93
2.	14.08.2001	5,72	2,18
3.	11.05.2002	4,76	1,22
4.	21.06.2006	4,67	1,12
5.	13.05.2002	3,86	0,32
6.	23.06.2003	3,56	0,02

Potřebný objem pro sériově zařazený retenční objem je vypočten podle rovnice 9:

$$V_{\text{retence}} = V_{\text{akumul}} - V_{\text{akumul}(21)} = 4,80 - 3,45 = 1,35 \text{ m}^3$$



Obrázek 17: Plnění a prázdnění akumulční nádrže pro R = 21 dní – varianta 2

Dále byla pomocí matematického modelu určena rezerva, která by vyhovovala na bezpečnost 5 – letého deště. Pro 29 – denní zásobu vychází přesně 2 přepady za 10 let a akumulční objem je  $V_{akumul(29)} = 4,77 \text{ m}^3$ .

Tabulka 12: Výsledky ověření pro zásobu 21 a 29 dní

		Zásoba 21 dní	Zásoba 29 dní
Velikost akumulční nádrže [m³]		3,51	4,77
Odtok ze střechy [m³/10 let]		672,04	672,04
Využilo se	Závlaha [m³/10 let]	657,60	657,60
	Splachování WC [m³/10 let]	263,02	263,02
Přepad z akumulční nádrže		187,55	160,57
Doplnění pitnou vodou [m³/10 let]		436,14	328,17

## 5.3 SAMOSTATNÁ RETENCE S REGULOVANÝM ODTOKEM

Podle kapitoly 4.6.1 byl vypočítán objem retenčního objektu. Návrhová periodičita srážek  $p = 0,2$  byla zvolena podle tabulky 6. V prvním kroku byla vypočtena redukovaná odvodňovaná plocha.

$$A_{red} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \psi_i = \sum_{i=1}^2 500 \cdot 0,1 + 120 \cdot 0,75 = 140 \text{ m}^2$$

Doporučená hodnota specifického odtoku pro daný model je 3 l/s/ha. Pro správné fungování objektu nemá být hodnota regulovaného odtoku menší než 0,5 l/s (TNV 75 9011, 2013). Regulovaný odtok ze zařízení vypočítáme podle vzorce (...):

$$Q_o = \frac{3}{10000} \cdot 620 = 0,186 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \rightarrow Q_c = 0,5 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$$

V dalším kroku vypočítáme objem přítoku a odtoku z retenčního zařízení podle vzorců 11 a 13. Pak potřebný retenční objem se rovná jejich rozdílu.

Tabulka 13: Hydrologická bilance retenčního zařízení

t [min]	i (l/s/ha)	V <sub>přítok</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>odtok</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>retence</sub> [m <sup>3</sup> ]
10	337	3,03	0,30	2,73
15	255	3,44	0,45	2,99
20	201	3,62	0,60	3,02
30	141	3,80	0,90	2,90
40	110	3,96	1,20	2,76
60	77,3	4,18	1,80	2,38
120	42,0	4,54	3,60	0,94
240	23,8	5,14	7,20	-2,06
360	17,0	5,50	10,80	-5,30
480	13,2	5,72	14,40	-8,68
600	11,0	5,94	18,00	-12,06
720	9,3	6,06	21,60	-15,54
960	7,1	6,15	28,80	-22,65
1200	5,9	6,34	36,00	-29,66
1440	4,9	6,39	43,20	-36,81



Maximální retenční objem je  $V_{\text{retence}} = 3,02 \text{ m}^3$  (viz. tabulka 8). Maximální hloubka vody v retenčním objektu je 0,3 m. Pomocí citlivostní analýzy byla zjištěna potřebná retenční plocha  $A_{\text{retence}} = 10,07 \text{ m}^2$ . Doba prázdnění podle vzorce 12 se rovná:

$$T_{pr} = \frac{V_{\text{retence}}}{Q_{vsak}} = \frac{3,02 \cdot 1000}{0,186} = 16\,237 \text{ s} = 4,5 \text{ h}$$

## 5.4 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

### 5.4.1 Varianta 1

#### Akumulační nádrž s bezpečností na 5 - letý déšť

Investiční náklady na akumulaci nádrž s 28 - denní zásobou o  $V_{\text{akumul}} = 4,72 \text{ m}^3$  by se měla pohybovat podle průměrných cen dopravní a technické infrastruktury obcí (Šimková, 2017) v rozmezí 103 400 Kč až 126 900 Kč. V tabulce 14 je uveden detailnější soupis investičních nákladů.

Tabulka 14: Investiční náklady – akumulaci nádrž se zásobou na 28 dní

	počet MJ	MJ	cena jednotková [Kč]	cena celkem bez PDH
Akumulační nádrž V = 4,70 m³	1	ks	35 220,00	35 220,00
Potrubí (dešťová voda)	10	m	484,30	4 843,00
Potrubí (užitková voda)	12	m	304,18	3 650,16
Podsyp štěrkopísek 150 mm	0,64	m³	800,00	510,00
Obsyp	1,66	m³	477,00	7 228,94
Zemní práce	6,38	m³	363,00	7 214,63
Stavební práce	10 % z celkové částky			5 867,20
21 % DPH				13 553,24
celkové náklady				78 092,46

Celkové investiční náklady vycházejí bez DPH 64 539,22 Kč a s DPH 21 % **78 092,46 Kč**. Ceny jsou pouze orientační.



## Akumulační nádrž na 21 – denní zásobu a retenční objekt s regulovaným odtokem

Tabulka 15: Investiční náklady – Akumulační nádrž na 21 – denní zásobu a retenční objekt s regulovaným odtokem

	počet MJ	MJ	cena jednotková [Kč]	cena celkem bez PDH
Akumulační nádrž V = 3,51 m³	1	ks	27 175,00	27 175,00
Potrubí (dešťová voda)	10	m	484,30	4 848,30
Potrubí (užitková voda)	12	m	304,18	3 650,16
Podsyp štěrkopísek 150 mm	0,64	m³	800,00	510,00
Obsyp	1,66	m³	477,00	9 473,46
Zemní práce	6,38	m³	363,00	8 483,49
Retenční objem s regulovaným odtokem	1,19	m³	4000,00	4 760,00
Stavební práce	10 % z celkové částky			5 890,04
21 % DPH				13 605,99
celkové náklady				78 396,45

Celkové investiční náklady vycházejí bez DPH 64 790,45 Kč a s DPH 21 % **78 396,45 Kč**. Ceny jsou pouze orientační.

### 5.4.2 Varianta 2

#### Akumulační nádrž s bezpečností na 5 - letý déšť

Tabulka 16: Investiční náklady – akumulční nádrž se zásobou na 29 dní

	počet MJ	MJ	cena jednotková [Kč]	cena celkem bez PDH
Akumulační nádrž V = 4,72 m³	1	ks	35 557,00	35 557,00
Potrubí (dešťová voda)	10	m	484,30	4 843,00
Potrubí (užitková voda)	12	m	304,18	3 650,16
Podsyp štěrkopísek 150 mm	0,64	m³	800,00	510,00
Obsyp	1,66	m³	477,00	7 228,94
Zemní práce	6,38	m³	363,00	7 214,63
Stavební práce	10 % z celkové částky			5 900,90
21 % DPH				13 631,08
celkové náklady				78 541,01



Celkové investiční náklady vycházejí bez DPH 64 909,92 Kč a s DPH 21 % **78 541,01 Kč**. Ceny jsou pouze orientační.

### **Akumulační nádrž na 21 – denní zásobu a retenční objekt s regulovaným odtokem**

Tabulka 17: Investiční náklady na akumulaciční nádrž na 21 – denní zásobu a retenční objekt s regulovaným odtokem

	počet MJ	MJ	cena jednotková [Kč]	cena celkem bez PDH
Akumulační nádrž V = 3,51 m³	1	ks	26 776,00	26 776,00
Potrubí (dešťová voda)	10	m	484,30	4 848,30
Potrubí (užitková voda)	12	m	304,18	3 650,16
Podsyp štěrkopísek 150 mm	0,64	m³	800,00	510,00
Obsyp	1,66	m³	477,00	8 857,89
Zemní práce	6,38	m³	363,00	7 993,26
Retenční objem s regulovaným odtokem	1,19	m³	4000,00	5 400,00
Stavební práce	10 % z celkové částky			7 993,26
21 % DPH				13 406,23
celkové náklady				77 245,40

Celkové investiční náklady vycházejí bez DPH 63 839,17 Kč a s DPH 21 % **77 245,40 Kč**. Ceny jsou pouze orientační.

#### **5.4.3 Samostatný retenční objekt s regulovaným odtokem**

Investiční náklady na retenční objekt o objemu  $3,02 \text{ m}^3$  jsou minimálně 10 570,00 Kč a maximálně 13 590,00 Kč. Pro posouzení byla zvolena střední hodnota **12 080,00 Kč**.

Nakonec byly vypočteny provozní náklady, úspora za ušetřenou pitnou vodu na splachování WC a celkové náklady za 25 let. Pro přehlednost jsou hodnoty napsány v tabulce 18.



Tabulka 18: Výsledek orientačního ekonomického zhodnocení

	Varianta 1		Varianta 2		Retence s reg. odtokem
	Akumulace (21 dní) + retence s reg. odtokem	Akumulace (28 dní)	Akumulace (21 dní) + Retence s reg. odtokem	Akumulace (29 dní)	
IN	78 396,45	78 092,46	78 541,01	77 245,40	12 080,00
PN	34 543,75	32 312,50	35 531,25	33 000,00	26 425,00
ÚS	43651,45	43651,45	43651,45	43651,45	0
CN	- 69288,75	- 66 753,51	- 70 420,81	- 66 593,95	- 38 505,00

IN = investiční náklady

PN = provozní náklady za 25 let

ÚS = úspora za využití vody v domácnosti na splachování WC za 25 let

CN = celkové náklady za 25 let

## 6 ZÁVĚRY

Hlavním výsledkem práce je návrh akumulční nádrže se sériově zařazeným retenčním objektem s regulovaným odtokem pro variantu 1 – standartní případ a variantu 2 – nejméně příznivá situace. Objem akumulční nádrže byl navržen nejprve klasických výpočtem. Takto vypočítaný objem pro obě varianty vycházel podobný, lišil se o pouhých  $0,06 \text{ m}^3$ . Předpoklad, že takto vypočítaná návrhová kapacita nebude dostatečná, bylo ověřeno výpočtem historické dešťové řady. Na přebytečnou vodu přepadající z akumulční nádrže byly navrženy retenční objekty, i jejich objemy vycházejí o podobné velikosti. Z těchto důvodů vychází ekonomické zhodnocení podobné, a to celkové náklady za 25 let kolem 70 000,00 Kč.

V dalším kroku byla zvětšována zásoba vody ze standartních 21 dní, tak aby byla dosažena bezpečnost na 5 – letý déšť. V 1. variantě byla návrhová kapacita překročena 5x za 10 let při rezervě 21 dní, ale už při zvýšení zásoby na 28 dní byla návrhová kapacita dle TNV 75 9011 dodržena. V 2. variantě byla návrhová kapacita překročena 6x za 10 let při zásobě 21 dní, a bezpečnost byla dodržena při návrhu 29 - denní zásoby.

Pro porovnání je navržen samostatný retenční objekt s regulovaným odtokem, který byl vypočítán na objem  $3,02 \text{ m}^3$  a zabírá plochu o velikosti  $10 \text{ m}^2$ . Tato varianta je nejméně náročná na počáteční investiční náklady. Provozní náklady za rok vychází vyšší než u samostatné akumulční nádrže. Z důvodu, že v této variantě nedochází k úspoře za pitnou vodu, nemá žádnou návratnost. I přesto vychází celkové náklady na samostatnou retenci za 25 let nejvyšší.



## 7 LITERATURA

**ArchDaily:** *Qunli Stormwater Wetland Park* [online], 2013. In: . [cit. 2019-04-15]. ISSN 0719-8884.

**ARLINGTON COUNTY**, Green Roof at Walter Reed CC. In: *Flickr* [online]. 6.2.2004 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.flickr.com/photos/arlingtonva/3926468274>

**Asio:** *čištění a úprava vody* [online], 2019. Brno [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.asio.cz>

**BALLARD**, Woods. *The SuDS Manual* [online]. 2015. Ciria, 2007 [cit. 2019-03-17]. ISBN 978-0-86017-759-3. Dostupné z: [https://www.ciria.org/Resources/Free\\_publications/SuDS\\_manual\\_C753.aspx](https://www.ciria.org/Resources/Free_publications/SuDS_manual_C753.aspx)

**BURIAN**, Samuel, Dostalová JITKA, Duský MARTIN, Halama PETR, Chaloupka KAREL a Komzák JIŘÍ, 2016. *STANDARDY PRO NAVRHOVÁNÍ, PROVÁDĚNÍ A ÚDRŽBU: VEGETAČNÍ SOUVRSTVÍ ZELENÝCH STŘECH*. 1. Brno: Odborná sekce Zelené střechy při Svazu zakládání a údržby zeleně.

**BUTLER**, David a John W. DAVIES. *Urban drainage*. 2nd ed. New York: Spon Press, 2004. ISBN 04-153-0607-8.

**ČTK**, 2019. Půlka Dešťovky je pryč. O dotaci na lepší využití vody žádají čtyři tisíce domácností. In: *Aktuálně.cz* [online]. 1.4.2019 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/pulka-destovky-je-pryc-o-dotaci-na-lepsi-vyuziti-vody-zadaji/r~11384638546211e9b9980cc47ab5f122/>

**ČSN 75 9010:** *Vsakovací zařízení srážkových vod*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

**Dešťovka** [online], 2019. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2017 [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: <https://www.dotacedestovka.cz>

**DIN 1989-1:2001-10:** *ainwater Harvesting Systems - Part 1: Planning, Installation, Operation and Maintenance* [online], 2001. [cit. 2019-05-09]. Dostupné z: [https://pdhonline.com/courses/c611/Rainwater%20Harvesting%20EN\\_1989-1\\_\(en\).pdf](https://pdhonline.com/courses/c611/Rainwater%20Harvesting%20EN_1989-1_(en).pdf)

**DVOŘÁKOVÁ**, Denisa, *Využívání dešťové vody (I) - kvalita a čištění: Možnosti využívání dešťové vody a k tomu potřebná technická zařízení* [online]. 19.2.2007 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/destova-voda/3902-vyuzivani-destove-vody-i-kvalita-a-cistení>

**ENVI-PUR**, 2019. "*Velká dešťovka" pro obce* [online]. 8.2.2019, 1 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <http://www.envi-pur.cz/cz/clanky/203-velka-destovka-pro-obce/>

**HB jímky** [online], 2019. [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.hbjimky.cz/index.php>

**HLAVÍNEK**, Petr, Petr PRAX a Jiří KUBÍK. *Hospodaření s dešťovými vodami v urbanizovaném území*. Brno: ARDEC, c2007. ISBN 80-860-2055-X.

**KREJČÍ**, Vladimír. *Odvodnění urbanizovaných území - koncepční přístup*. Brno: Noel 2000, 2003. ISBN 80-860-2039-8.

**LimnoTech** [online], 2008. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <https://www.limno.com>

**LE MASURIER**, George, *Sponging up the rain, taxing impervious surfaces — what other communities are doing* [online]. 2.1.2019 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://decafination.net/2019/01/02/sponging-up-the-rain-taxing-impervious-surfaces-what-other-communities-are-doing/>

**OPTIGROEN**, Intensive green roof/garden roof. In: *Urban green-blue grids* [online]. Netherlands [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.urbangreenbluegrids.com/measures/green-roofs/intensive-green-roofs/>

**PAIDAR**, Martin, *Separační procesy* [online]. In: . Praha, 10.5.2017 [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~paidarm/ACHP/prezentace/6cz%20-%20Separačn%C3%AD%20procesy.pdf>

**Pocitamesvodou.cz** [online], [cit. 2019-04-27]. Dostupné z: <https://www.pocitamesvodou.cz>

**Portál ČHMÚ**: Český hydrometeorologický ústav [online], 2019. Praha [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>

**TNV 75 9011**: *Hospodaření se srážkovými vodami*. Praha: Sweco Hydroprojekt, 2013.

**TRUMM**, Doug, 2015. Will Soil Save Cities from Climate Change?. In: *The Urbanist* [online]. 21.10.2015 [cit. 2019-03-18]. Dostupné z: <https://corporatecastaway.files.wordpress.com/2015/10/naturalvsurbanrunoff.jpg>

**Veolia**: Královohradecká provozní, a.s. [online], 2019. [cit. 2019-05-25]. Dostupné z: <https://www.khp.cz>



**Vodohospodářské služby** [online], [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <http://www.vhs-rt.cz/vsakovaci-sachty>

**VÍTEK**, Jiří. Odvodňování urbanizovaných území podle principů udržitelného rozvoje. *Urbanismus a územní rozvoj* [online]. 2008, 6.9.2008, **XI**(4), 12 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: [http://www.jvprojektvh.cz/photo/sekce/file/2008-06-09\\_JVPVH.pdf](http://www.jvprojektvh.cz/photo/sekce/file/2008-06-09_JVPVH.pdf)

**VÍTEK**, Jiří, David **STRÁNSKÝ**, Ivana **KABELKOVÁ**, Vojtěch **BAREŠ** a Radim **VÍTEK**. *Hospodaření s dešťovou vodou v ČR*. Praha: 01/71 ZO ČSOP Koniklec, 2015. ISBN 978-80-260-7815-9.

**VRKOČ**, Jan, 2013. *Určení potenciálu využití srážkové vody v budovách pomocí simulace srážko- odtokových procesů*. Praha. Diplomová práce. ČVUT Fakulta stavební. Vedoucí práce Doc. Ing. David Stránský, Ph.D.

**VYKYDAL**, Miroslav. Dešťové kanalizace. *Vodní hospodářství* [online]. 2017 [cit. 2019-03-31]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/destove-kanalizace/?highlight=destova%20voda>

**STRÁNSKÝ**, David, Ivana **KABELKOVÁ**, Karel **KŘÍŽ** a Gabriela **ŠŤASTNÁ**, 2017. *Zhodnocení potenciálu sběru dešťové vody z objektů ve správě MČ Praha 4* [online]. [cit. 2019-05-17]. ČVUT Fakulta stavební.

**STRÁNSKÝ**, David, Vojtěch **BAREŠ** a Ivana **KABELKOVÁ**, 2015. *Hospodaření se srážkovými vodami: právní prostředí, technické normy, stavební objekty, příklady* [online]. Praha [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://www.pocitamesvodou.cz/wp-content/uploads/2015/01/Hospodareni-se-srazkovymi-vodami-2017.pdf?x58580>

**ŠENKÝŘ**, Vladimír, 2005. Jak správně a ekonomicky zavlažovat trávníky. *Zahradnictví* [online]. 27.1.2005 [cit. 2019-05-20]. Dostupné z: <https://www.zahradaweb.cz/jak-spravne-a-ekonomicky-zavlazovat-travniky/>

**ŠIMKOVÁ**, Hana, 2017. *PRŮMĚRNÉ CENY DOPRAVNÍ A TECHNICKÉ INFRASTRUKTURY OBCÍ: Aktualizace 2017* [online]. Praha [cit. 2019-05-22]. ISBN 978-80-87318-60-7. Dostupné z: <http://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/internetove-prezentace/prumerne-ceny-TI/2017/ceny-ti-2017-celek.pdf>

**Zákony pro lidi** [online]. Zlín: AION CS, 2019 [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz>

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma oddílné a jednotné stokové sítě (LimnoTech, 2019) .....	6
Obrázek 2: Srovnání odtoků z přirozeného a městského prostředí (Trumm, 2015).....	7
Obrázek 3: Schématické znázornění procesů v atmosféře (Krejčí, 2003).....	9
Obrázek 4: Schéma výměny nepropustných povrchů za propustné (ENVI-PUR, 2019)14	
Obrázek 5: Příklad intenzivní zelené střechy, střešní zahrady (Optigroen, 2019) .....	15
Obrázek 6: Příklad extenzivní zelené střechy na Walter Reed CC (Arlington County, 2004) .....	15
Obrázek 8: Schéma vsakovacího průlehu s povrchovým přítokem (TNV 75 9011, 2013) .....	17
Obrázek 9: Vsakovací nádrž u budovy Delta, Praha (pocitamesvodou.cz, 2019).....	18
Obrázek 10: Vsakovací rýha s podpovrchovým přítokem (TNV 75 9011, 2013).....	19
Obrázek 11: Betonová jímka na dešťovou vodu umístěná pod terénem (HB jímky, 2019) .....	20
Obrázek 12: Suchá retenční dešťová nádrž (poldr) (TNV 75 9011, 2013) .....	21
Obrázek 13: Umělé mokřady Qunli Stormwater Wetland Park, Čína (ArchDaily, 2013) .....	22
Obrázek 14: Dlouhodobý normál teploty vzduchu 1981-2010 v Královohradeckém kraji (Portál ČHMÚ, 2019) .....	34
Obrázek 15: Vzorový příčný řez uložení akumulární nádrže (Vrkoč, 2013).....	40
Obrázek 16: Vývoj cen vodného a stočného v Hradci Králové v letech 2009–2019 .....	42
Obrázek 17: Plnění a prázdnění akumulární nádrže s rezervou $R = 21$ dní .....	44
Obrázek 18: Plnění a prázdnění akumulární nádrže pro $R = 21$ dní – varianta 2 .....	46

## Seznam tabulek

Tabulka 1: Orientační tabulka míry znečištění srážkových vod (TNV 75 9011, 2013).	11
Tabulka 2:Dlouhodobý srážkový normál 1981-2010 v Královohradeckém kraji (Portál ČHMÚ, 2019) .....	31
Tabulka 3: Součinitele odtoku srážkových povrchových vod dle ČSN 75 9010 .....	32
Tabulka 4:Specifická potřeba vody pro závlahu trávníku .....	34
Tabulka 5: Návrhové úhrny srážek Královohradecký kraj s dobou trvání 10 min až 1440 min (24 hod) .....	37
Tabulka 6: Návrhová periodičita srážek pro dimenzování vsakovacích zařízení (ČSN 75 9010, 2012) .....	38
Tabulka 7: Jednotkové náklady na akumulací objem (Vrkoč, 2013) .....	40
Tabulka 8: Přehled nákladů trubního vedení (Vrkoč, 2013) .....	41
Tabulka 9: Jednotlivé případy za 10 let pro 21 – denní zásobu – varianta 1 .....	43
Tabulka 10: Výsledky ověření pro zásobu 21 a 28 dní.....	44
Tabulka 11: Jednotlivé případy za 10 let pro 21 – denní zásobu – varianta 2 .....	45
Tabulka 12: Výsledky ověření pro zásobu 21 a 29 dní.....	46
Tabulka 13: Hydrologická bilance retenčního zařízení .....	47
Tabulka 14: Investiční náklady – akumulací nádrž se zásobou na 28 dní.....	48
Tabulka 15:Investiční náklady – Akumulací nádrž na 21 – denní zásobu a retenční objekt s regulovaným odtokem.....	49
Tabulka 16: Investiční náklady – akumulací nádrž se zásobou na 29 dní.....	49
Tabulka 17: Investiční náklady na akumulací nádrž na 21 – denní zásobu a retenční objekt s regulovaným odtokem.....	50
Tabulka 18:Výsledek orientačního ekonomického zhodnocení .....	51